الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية العلوم

قسم الجيولوجيا

استخدام الطرق الجيوكهربائية في تقييم الرشح في سد حبران

أطروحة أعدت لنيل درجة الماجستير في الجيوفيزياء التطبيقية

إعداد الجيوفيزيائي محمد اللحام

دبلوم في الجيوفيزياء التطبيقية

الدكتور معتصم القادري	الدكتور محمد أنور محفوظ
الأستاذ المشرف	المشرف المساعد

لجنة الحكم :

د.واثق رسول آغا

د.زياد سلوم

د.معتصم القادري

أعوذ بالله من الشيطان الرجيم

بسم الله الرحمن الرحيم

اقرأ باسم ربك الذي خلق ﴿١﴾ خلق الإنسان من علق ﴿٢﴾

اقرأ وربك الأكرم ﴿٣﴾ الذي علم بالقلم ﴿٤﴾

علم الإنسان ما لم يعلم ﴿٥﴾

صدق الله العظيم

الإهداء

إلى رفيق الدرب و الجبل الشامخ الذي أستند عليه

إلى البحر الواسع ننهل منه

إلى قلب يفيض محبة و روح تتألق سموا

حبي الأول و الأخير

أبي

إلى القلب الدافئ الذي خفق ليغذي روحي بالحياة

إلى ترانيم السماء على أوتار روحي

إلى انبعاثات الحياة في جسدي و ارتعاش النبض في عروقي

إلى من جنان السماء تحت أقدامها

أمي

إلى العيون المتلهفة لباقة من بوارق آمالي

بهم أتحدى محن الزمان

و معهم يطيب و تحلو الحياة

أخوتي حسام و عبدالله

محمد اللحام

كلمة شكر

في بداية هذه الأطروحة أجد من واجبي و من جميل القول القول و العمل أن أشكر جميع أساتذتي في كلية العلوم قسم الجيولوجيا جامعة دمشق ، الذين قضوا معي رحلة دراسية لم يبخلوا فيها علينا بجهد ، و زودوني بكل مفيد و جديد .هذه النخبة من الرجال و الصفوة من العلماء مهما بالغت في الثناء عليهم و الامتنان لهم لن أفيهم إلا القليل مقابل الكثير الذي أجزلوه لنا من قيض علمهم و فضائل كرمهم .

كما أنني لن أنسى أن أخص بالشكر الجزيل و الامتنان العظيم الاساتذه المشرفين على هذه الأطروحة :

الدكتور معتصم القادري و الدكتور محمد أنور محفوظ

أود التقدم بالشكر الجزيل للعاملين في وزارة الري، و مديرية حوض اليرموك في مدينة السويداء الذين قدموا لي جميع التسهيلات اللازمة لإتمام هذا العمل و أمدوني بجميع المعطيات العلمية المتوفرة لديهم.

محمد اللحام

ملخص :

إن عدم استقرار السدود الكبيرة و إمكانية فشلها و أحيانا انهدامها تهدد بشكل كبير سلامة الناس ، و العديد من نتائج الفشل هذا يؤدي إلى خسائر بشرية و خسائر للأملاك الخاصة و العامة و تلوث البيئة و خسائر اقتصادية أخرى.

ترتبط غالبا مشاكل السدود الردمية و فشلها بالتعرية الداخلية للنواة الغضارية بشكل أو بآخر . و يعتمد الرشح المائي بصورة أساسية على الناقلية الهيدروليكية للنواة الغضارية ، التي تعتمد على نوعية المواد المكونة للنواة الغضارية و تراصها .

يهدف هذا العمل إلى إيجاد طريقة نموذجية لمراقبة تغير رشح المياه المتسربة من حوض البحيرة إلى النواة الغضارية باستخدام الطرائق الجيوكهربائية و أهمها المقاومية الكهربائية (ρ) و الاستقطاب التحريضي(قابلية الشحن m) و الكمون الذاتي الطبيعي(SP).

تبين من خلال دراسة موديلات رقمية مفروضة للمقاومية الكهربائية و قابلية الشحن أن تشكيلة وينر شلمبرجير هي التشكيلة الأنسب لمراقبة جسم السد جيوكهربائيا ، لأن جسم السد مكون من طبقات غضارية أفقية ، وإن أي شاذ في جسم السد سيكون مسايرا لشكل هذه الطبقات. و تشكيلة وينر شلمبرجير ذات نمط حساسية الأكثر تأثرا بالشواذات الأفقية. بالإضافة إلى ذلك فإن تشكيلة وينر شلمبرجير تعطينا قيم مقاوميات كهربائية و قابلية شحن قليلة التأثر بالتشويش الناتج عن كمونات تشويش خطوط الطاقة ذات التوتر العالي و التيارات التللورية الطبيعية و غيرها من عوامل التشويش المؤثرة على الإشارة المسجلة . كما أنها قليلة التأثر بالأخطاء المتعلقة بأبعاد المساري .

استخدمت برامج لتصحيح تأثير الشكل الهندسي للسد على قياسات السبر الشاقولي . كما استخدمنا برامج حاسوبية للتفسير و قد تم مقارنة طريقة النمذجة الخشنة للتفسير **(L١-Blocky method)** مع طريقة النمذجة الناعمة للتفسير **L٢-Smoothness (constrained)** للتأكد من عدم وجود تشويش مؤثر على قياسات المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن .

نفذت قياسات السبر الجيوكهربائي الشاقولي (للمقاومية الكهربائية و قابلية الشحن) إضافة إلى مسح الكمون الطبيعي و تدرج الكمون ، كما تم تطبيق طريقة تعد جديدة تنفذ لأول مرة و هي قياس تغير الكمون الطبيعي مع الزمن المرافق لكل نقطة قياس سبر شاقولي لفترة ساعة من الزمن (الزمن المستغرق لقياس نقطة سبر شاقولي) و أعطت تنائج جيدة و متوافقة مع غيرها من الطرائق الجيوكهربائية .

كما استخدامت معادلة ((Bhattacharya and Roy.(١٩٨١**)**، لأول مرة في مجال السدود و دراسة الرشوحات المائية، بحيث تعتمد هذه المعادلة على حساب الكمون الطبيعي معتمدة على أبعاد شواذ معين مفترض لمقارنتها مع مسح الكمون و تم ملاحظة تطابق بين مسح الكمون المقيس و المحسوب.

بينت الدراسة المنفذة أنه يمكن الكشف عن أية شواذات أو نطاقات تشقق في السد بواسطة مراقبة التغيرات الفصلية للمقاومية الكهربائية و قابلية الشحن و الكمون الذاتي الطبيعي و حساب مقاطع التغيرات النسبية للمقاومية الكهربائية و قابلية الشحن بحيث أن القيام بسبر واحد للمقاومية الكهربائية و قابلية الشحن و الكمون الذاتي الطبيعي قد يكون مضللا.

تتغير المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن بشكل دوري على طول السنة (أي تتغير مع الزمن) في الأجزاء السليمة من النواة الغضارية، و يمكن أن تفسر التغيرات الفصلية للمقاومية الكهربائية و قابلية الشحن في السد كنتيجة للتغيرات الفصلية لتركيز الأملاح المنحلة TDS في مياه البحيرة المستمرة ضمن النواة الغضارية.يكون تأثير التغيرات الفصلية لدرجة حرارة مياه بحيرة التخزين على المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن النواة الغضارية صغيرا جدا بحيث يمكن إهماله.

أما تغيرات المقاومية الكهربائية و قابلية شحن نطاقات الضعف المخلخلة في النواة الغضارية تتعلق بضغوط مياه البحيرة ومقدار المياه الراشحة إلى جسم السد من البحيرة .

كما يوجد تغيرات في الكمون الذاتي الطبيعي SP على طول السنة ، و تتعلق تغيرات الكمون الذاتي الطبيعي بتغيرات المقاومية الكهربائية الفصلية و تتناسب طردا معها في القطاعات السليمة من السد . لكن في نطاقات رشح مياه بحيرة التخزين إلى النواة الغضارية تلعب الضغوطات الناتجة عن منسوب مباه بحيرة التخزين دورا رئيسيا في تحديد قيم الكمون الذاتي الطبيعي بالإضافة إلى المقاومية الكهربائية.

تبين وجود نطاق مخلخل بعيد عن منطقة المفرغ و هذا ما يدل على أن هذا النطاق المخلخل ناتج عن زيادة في نسبة الشوائب الغير غضارية ، و ليس رص غير جيد للطبقات الغضارية . يقع هذا النطاق على بعد X=٩٠→١٠٠m عن بداية السد الشمالية و عمق Z=١٢→١٥m عن قمة السد ، و هذا النطاق المخلخل يسمح لمياه بحيرة السد بالرشح إلى داخل النواة و حركتها بشكل أفقي نحو نهاية السد اليسرى (النقطة التي تبعد X=٤٨m عن بداية السد) ، و هذه النتيجة مطابقة للنتائج الجيوهندسية لآبار السبور المحفورة من قبل الوحدة المهنية التابعة لكلية الهندسة المدنية في جامعة دمشق على جسم السد . و هذا النطاق المخلخل لا زال في بداية تشكله (بحيث أن سد حبران يعد من

السدود التي شيدت حديثا) و يمكن معالجته من قبل الجهات المختصة، قبل توســـع هـــذا الشاذ لدرجة كبيرة .

الفهرس

مقدمـــــة

أهمية الدراسة :

تبين الإحصائيات الصادرة عن اللجنة الدولية للسدود الضخمة (ICOLD,١٩٩٥) التي أجريت على سدود ردمية في مناطق مختلفة من أوروبا أن مشاكل السدود الردمية و فشلها يكون بنتيجة :

- التعرية الداخلية الناتجة عن رشح الماء في جسم السد و ضمن قمة جسم السد.

- التعرية الداخلية الناتجة عن رشح الماء في صخر الأساس المتوضع عليه جسم السد.

لذلك غالبا ما يرتبط فشل السدود الردمية بالتعرية الداخلية للنواة الغضارية بشكل أو بآخر.

يعتمد الرشح المائي بشكل أساسي على الناقلية الهيدروليكية للنواة الغضارية و التي تعتمد بشكل أساسي على نوعية المواد المكونة للنواة الغضارية و تراصها . يؤدي الإشباع المائي للتربة الغضارية لجسم السد و الأساس القائم عليه جسم السد و المحيط بهذا الأساس إلى نقصان تماسك هذه التربة و انتباجها و انزياحها و عدم استقرارها ، و عندما ترشح المياه في صخور غير متراصة بصورة جيدة (على سبيل المثال في النواة الغضارية لسد ردمي) تنشأ تعرية داخلية للغضار المكون ، حيث تجرف الحبيبات الناعمة الغضارية بعيدا مع الماء الراشح، و تزداد تبعا لذلك الناقلية الهيدروليكية للمواد المتبقية في النواة الغضارية بسبب الرشح المائي ضمن السد ، و تشتد التعرية ويزداد جرف المواد المكونة الغضارية مع الزمن، مما تشكل مصدرا خطرا لاستقرار السد و سلامته ***(Mainali,G.(٢٠٠٧))***، و يؤدي عدم استقرار السدود الكبيرة و إمكانية فشلها و أحيانا انهدامها إلى حصول خسائر بشرية ، و خسائر للأملاك الخاصة و العامة ، و تلوث البيئة و خسائر اقتصادية مختلفة، وقد رأينا ذلك بشكل واضح في حالة تهدم سد زيزون في سورية ، لذلك فإن مراقبة سطح المياه المتسرب و كشف نطاقات التعرية الداخلية ، مهمة جدا لسلامة السدود الردمية.

هدف الدراسة :

تطوير طريقة لمراقبة السدود الردمية من خلال دراسة تغيرات رشح ماء بحيرة التخزين داخل جسم السد أي دراسة التجوية الداخلية الحاصلة ضمن جسم السد ، وذلك باستخدام القياسات الجيوكهربائية (المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن و الكمون الذاتي الطبيعي) .

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة :

- هو استكشاف وجود شواذ في السد (إن وجدت) و رصد تغيراتها وتحديد مواقعها، وأبعادها الهندسية باستخدام بعض المنهجيات العالمية في القياسات الجيوكهربائية المعتمدة في مراقبة السدود

- دراسة الخواص الرشحية لسد حبران وتبيان واقعه الحالي.

- الفهم الكافي للتغيرات المقاومية الكهربائية و عامل الشحن و الكمون الذاتي الطبيعي لأن هذه التغيرات تشكل أساس تقييم رشح المياه ضمن جسم السد .

- وضع منهجية مناسبة للمراقبة الجيوفيزيائية الدورية للسدود وتطبيقها على السدود المقامة في سورية.

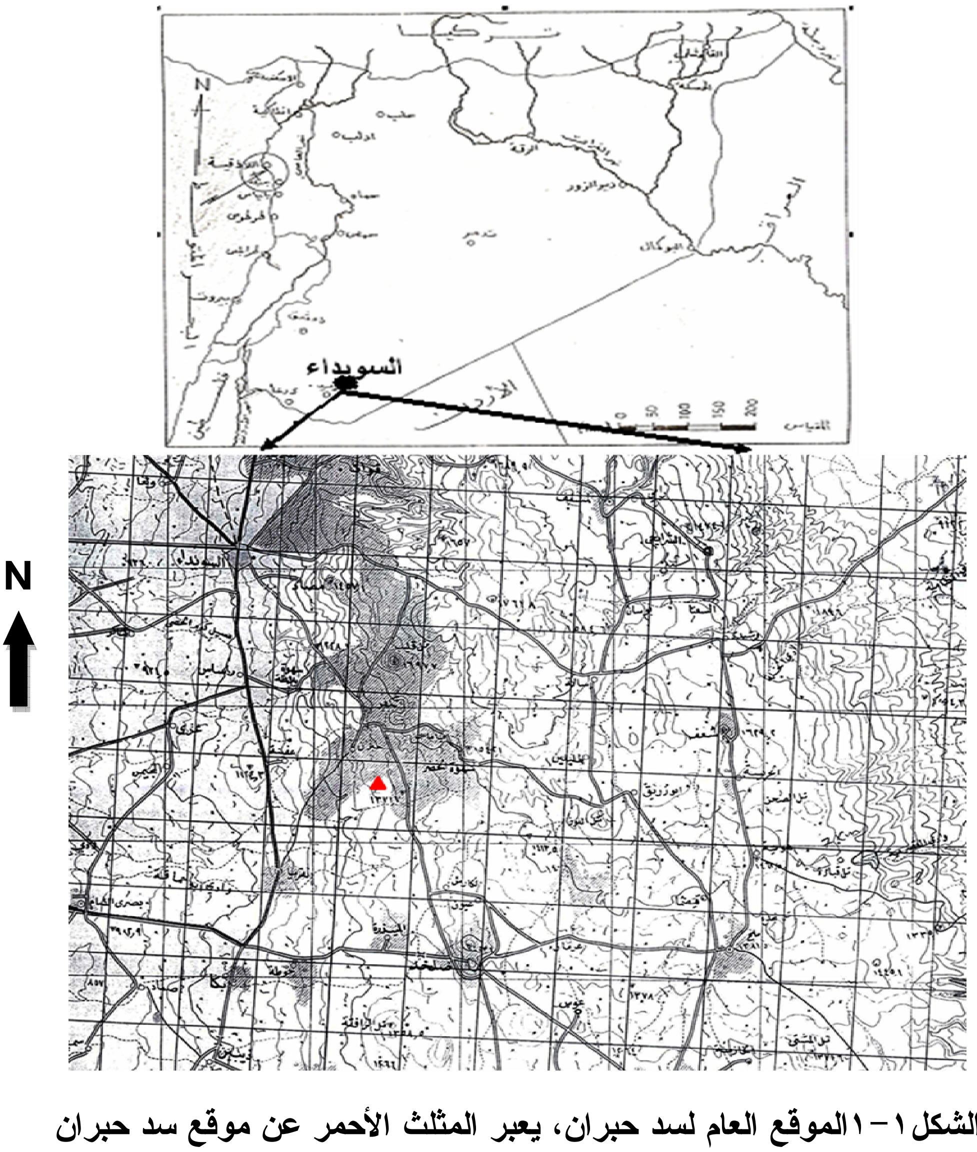
الفصل الأول

الأوضاع الجغرافية و المائية و الجيولوجية لمنطقة السد و بنيته

١-١ الأوضاع الجغرافية:

يقع سد حبران في محافظة السويداء على بعد حــوالي ١٢km جنــوب شــرق مدينــة **السويداء** (الشكل ١-١) . لقد تم اعتماد شبكة محلية بحيث أن منسوب أعلى الجدار اليميني هو (+١٠٠,٤٥) أما إحداثيات موقع السد حسب مصادر مديرية حوض اليرمــوك فهي *(مرعي،ي.شبلاق،م.حسين،ع.(٢٠٠٧))* :

X=٣٦١٠,٦ Y=٤٠٠,٥



الشكل ١-١ الموقع العام لسد حبران، يعبر المثلث الأحمر عن موقع سد حبران

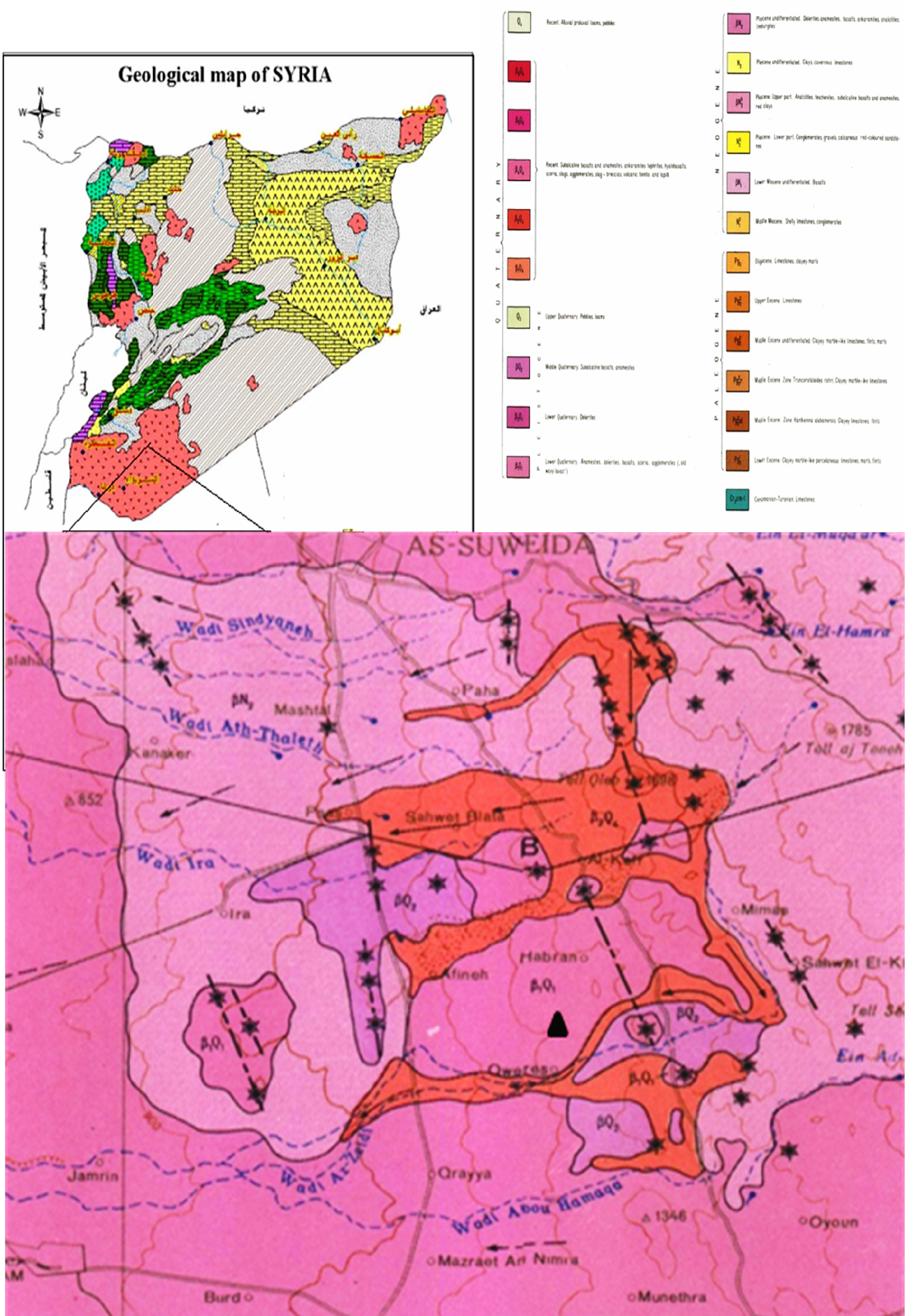
٢-١ الأوضاع الجيولوجية:

تتكشف في منطقة الدراسة صخور بركانية تعود إلـــى البليـــستوسين B١Q١ (المـــذكرة الإيضاحية للمنطقة الجنوبية).

تمتد صخور الرباعي الأدنى B١Q١ على نطاق واسع في حوران و جبل العرب و هـــي مكونة من اندفاعات بركانية تكون دائما محدودة باتجاهات مميزة (شكل٢-١)، حيث تتجه في الطابق السفلي البنيوي نحو الشمال والشمال الغربي، و هذا يبدو في الصبات الواقعـــة شمال شرق شهبا و جنوب شرق السويداء . و تشكلت الشقوقية بسبب العوامل التكتونيـــة المؤثرة، كما وتكونت المخاريط البركانية من اندفاع البراكين ، و يوجد غالبا بشكل مباشر على الفوهات البركانية بعض التوضعات التي تشكلت بعد خمود البركان . كمـــا يلاحـــظ وجود الغضار الأحمر القاتم و هو من نواتج التعرية ، يملأ كليـــا أو جزئيـــا الـــشقوق و الفراغات المتشكلة نتيجة التبرد و العوامل التكتونية.

تغطي صخور البازلت مجرى الوادي و أكتافه في أرض الموقع المدروس ، بالإضـــافة لبعض التوضعات بشكل هضبات تبدو بشكل واضح في الجزء الشمالي من محور السد و خاصة على الضفة اليسرى ، و البازلت هنا مسامي فيه بعـــض الفراغـــات و الـــشقوق الممتلئة جزئيا بالغضار أو الكربونات المالئة أو النصف مالئة لتلك الفراغات و المـــسام و الشقوق .يتوضع فوق البازلت المكون لقاع الوادي طبقة غضارية سميكة تتنـــاقص كلمـــا ارتفعنا لأعلى منحدرات الوادي.

أما بالنسبة للقطاع الذي يتوضع عليه جسم السد ، تبين من خلال المقطع الطبقي للـــسبور المحفورة على طول محور السد تبين أن توضعات البازلت هذه تتـــشكل مـــن البازلـــت المتراص و البازلت المسامي ذو الفراغات بالإضافة للبازلت المشقق ، و تتـــداخل هـــذه التوضعات فيما بينها و بدون ترتيب أو انتظام . بالإضافة الى ذلك تبدو بعض الطبقـــات الغضارية الرقيقة التي ظهرت نتيجة تجوية صخور البازلت في فترة الهـــدوء البركـــاني *(حديد،ب.(١٩٧٠))*.



الشكل ٢-١ خريطة جيولوجية لموقع الدراسة (موقع السد ممثل بمثلث أسود)

٣-١الأوضاع المائية:

بني السد عام ١٩٧٥ من أجل توفير مياه الشرب و الري . متوسط الهاطل المطري في المنطقة ٥٠٠ mm، و مساحة الحوض الصباب ١٤,٦km٢، المتوسط السنوي لحجم الفيضان m٣(٣,٤*١٠) *(مرعي،ي.شبلاق،م.حسين،ع.(٢٠٠٧))*. الشكل٣-١



الشكل٣-١ صورة بانورامية لسد حبران

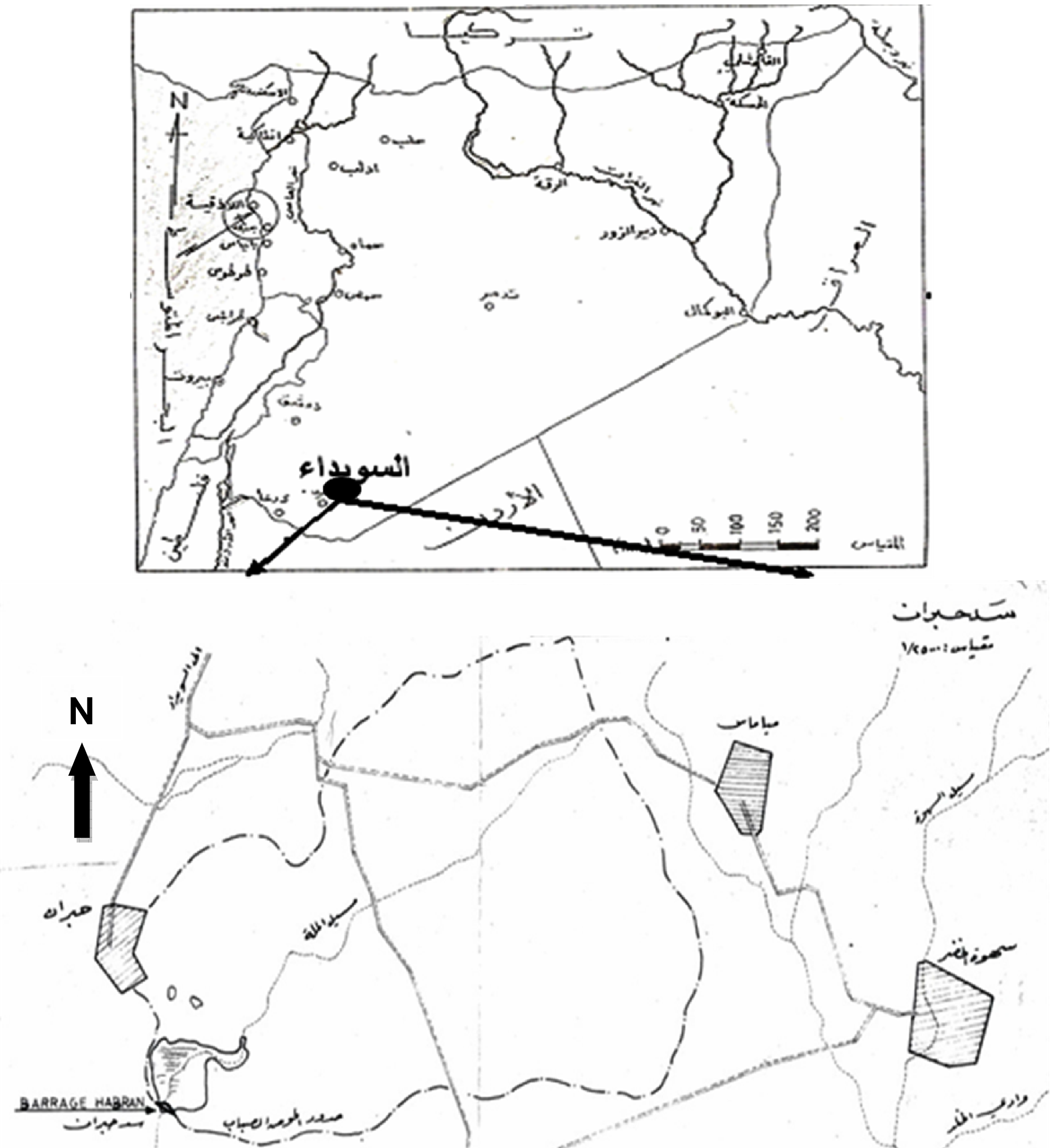
ارتفاع السد ٢٤,٤m، طول قمة السد ١٨٥m ، حجم السد ٧٧٦٠m٣ ،حجم حوض التخزين ١٩٥٠٠٠٠ m٣ و مساحة بحيرة السد ٢١٠٠٠٠ m٢ .

يقع وادي الملة المغذي لسد حبران في الجزء الشرقي من حوض اليرموك في محافظة السويداء الذي ينتهي من الجهة الجنوبية الغربية بحوض تخزين سد حبران. و تعتبر الشبكة الهيدروغرافية – التي تتألف من وادي رئيسي في الحوض- ضعيفة .

تبلغ أعلى قيمة ارتفاع عن سطح البحر للحوض الصباب حوالي ١٤٧٠m فوق سطح البحر أما اتجاه الحوض فهو جنوب غربي ، واتجاه جريان مياه الوادي من الشمال الشرقي الى الجنوب الغربي، و أخفض نقطة في المنطقة المدروسة هي ١٢٦٧m فوق سطح البحر (الشكل٤-١). يبلغ الميل الطولي الوسطي لمجرى الوادي الرئيسي من أعلى

نقطة و حتى منسوب قمة مفيض سد حبران حوالي ٣,٣٨٪ ، وطول مجرى الوادي حوالي ٥km .

تبلغ مساحة الحوض حتى موقع السد ١١km^{2} ، و هو ذو ميول لا بأس بها، و تربته غضارية مختلطة مع الحصى *(مرعي،ي.شبلاق،م.حسين،ع.(٢٠٠٧))* .



الشكل ٤-١ مخطط عام للحوض الصباب.

١-٣-١ مصادر تغذية مياه بحسرة سد حبران

a-١-٣-١ المياه الجوفية و الخواص الهيدروجيولوجية لصخور المنطقة :

إن مصدر تغذية المياه الجوفية في هذه المنطقة هي الثلوج و الأمطار ، ولا تشكل المياه الجوفية مصدر التغذية رئيسي لمياه بحيرة التخزين، لأن منسوب المياه الجوفية لا يشكل نطاق واحد مستمر في جميع أرجاء المنطقة ، بسبب تداخل البازلت الكتيم مع البازلت المسامي بدون ترتيب أو نظام في منطقة السد. ونلاحظ نتيجة لذلك أن بعض الينابيع تظهر على سطح الأرض في بعض الأماكن بدون ضاغط هيدروليكي في حين أن الوصول لبعضها الآخر يتطلب حفر آبار عميقة ، أما تصريف هذه الآبار و الينابيع يكون متفاوتا و يختلف حسب فصول السنة ، فيزداد تصريف هذه الآبار في فصل الشتاء و ينخفض في فصل الصيف . و تكون مياه الينابيع عذبة في حين أن مياه الآبار تتراوح بين عذبة و مالحة .

من خلال التحريات الهيدروجيولوجية التي أجريت في موقع السد على السبور المحفورة على طول المحور لأعماق لا بأس بها عبر الطبقات المتتالية تم تمييز ثلاثة قطاعات هدروجيولوجية : كتيمة – نصف نفوذة – نفوذة و ذلك بالاعتماد على عامل الامتصاص النوعي الذي تم حسابه نتيجة تجارب حقن الآبار عبر مجالات لا تتجاوز ٥m في الآبار الاختيارية المحفورة من قبل الجهة المنفذة للسد، وبعد الإنتهاء من التجارب تم حساب عوامل الامتصاص النوعي التالية *(حديد،ب.(١٩٧٠))*:

– نطاق نفوذ حيث عامل الامتصاص النوعي ٠,١٢ ل/دقيقة/م

– نطاق نصف نفوذ حيث عامل الامتصاص النوعي ٠,٠٥ ل /دقيقة/م

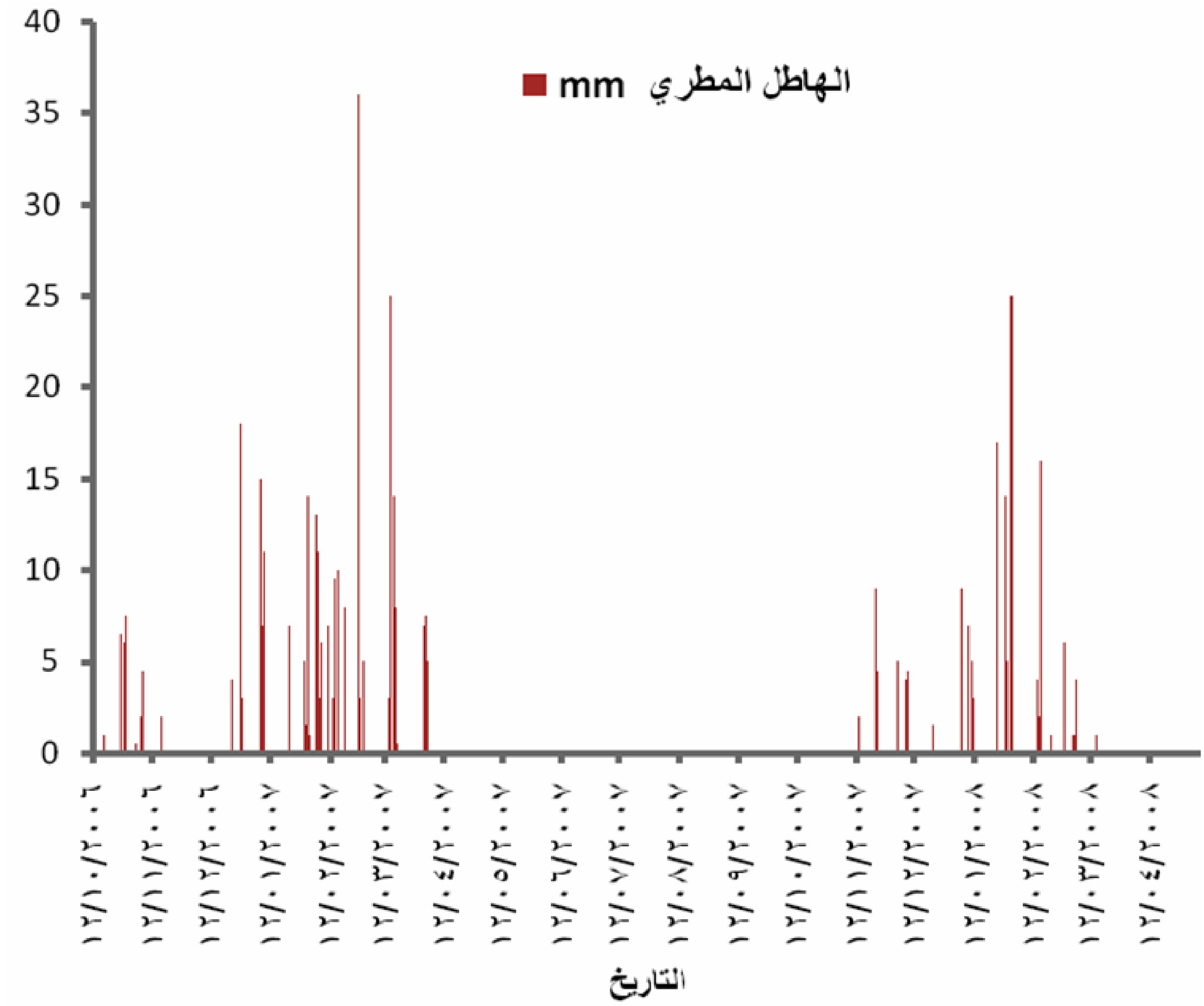
– نطاق غير نفوذ (كتيم) حيث عامل الامتصاص النوعي أقل من ٠,٠١ ل/دقيقة /م

من خلال التحريات الهيدروجيولوجية التي أجريت على السبور المحفورة على طول بروفيل يقطع الوادي و يقع في الجهة الشرقية للموقع المقترح لبناء السد، و تبين وجود ثلاثة قطاعات نفوذة، اثنان منها قريبان من السطح و نفوذيتها مرتفعة حيث أن أحدها الواقع على الضفة اليمنى ذو عامل امتصاص نوعي =١,٦٦ ل/دقيقة/م، و الآخر ذو عامل امتصاص =٠,٢٨٨ ل/دقيقة/م. و أما النطاق الثالث النفوذ فهو عميق نسبيا و عامل امتصاصه النوعي =٠,١٣٥ ل/دقيقة/م. و النطاقات الكتيمة هي صخور بازلتية تتوضع فوقها نواتج التعرية و تشكل أساس الوادي أو أنها صخور بازلتية شقوقها و فراغاتها مملوءة بشكل كامل بالغضار *(حديد،ب.(١٩٧٠))* .

b-١-٣-١ الأمطار :

يرتبط جريان وادي الملة بشكل مباشر بالهاطل المطري الذي يسبب جريانات مائية سطحية في فصلي الشتاء و الربيع بشكل رئيسي .

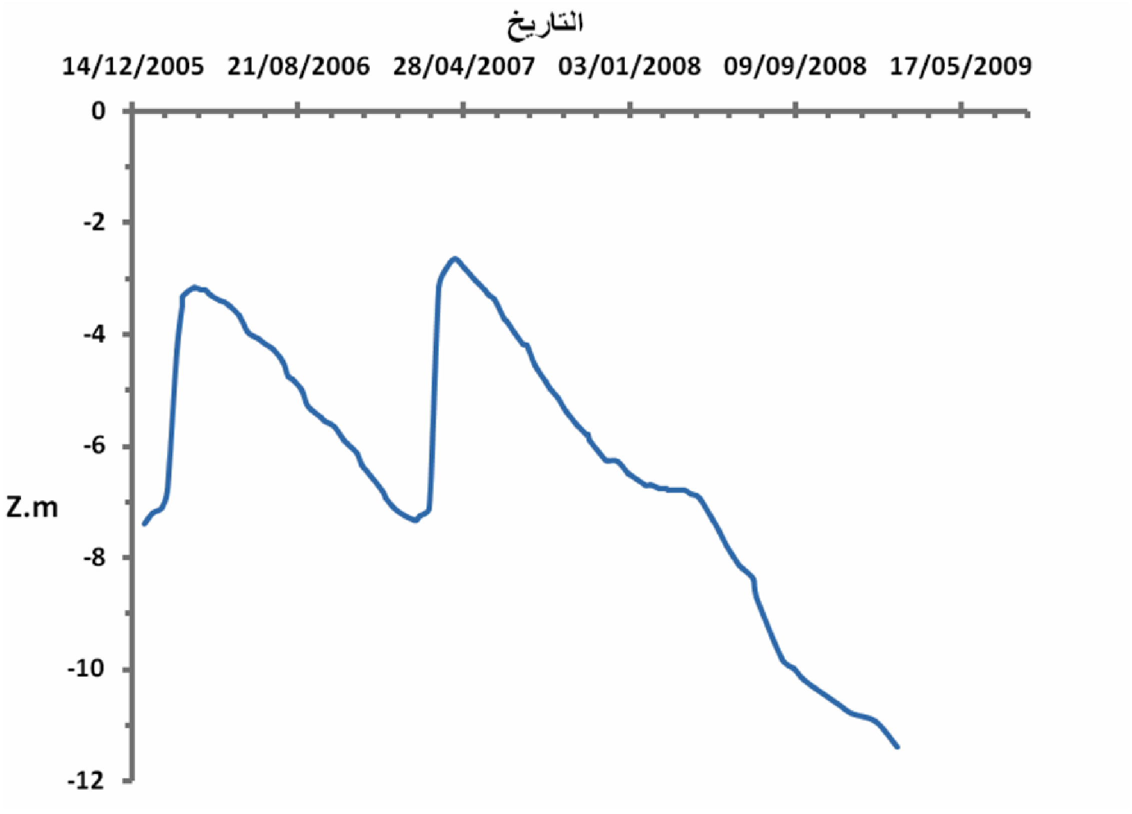
يبين الشكل ٥-١ مخطط مقدار الهطولات المطرية اليومية المقاسة في محطة صلخد القريبة من منطقة حبران من تاريخ ١٢/١٠/٢٠٠٦ و حتى ١٠/٥/٢٠٠٨، و نلاحظ على هذا الشكل أن مقدار الهطولات المطرية في عام ٢٠٠٨ أقل منها في العام ٢٠٠٧.



الشكل ٥-١ الهطولات المطرية اليومية المقاسة (مم) في محطة صلخد من ١٢/١٠/٢٠٠٦ و حتى ١٠/٥/٢٠٠٨

و يتحكم مقدار الهاطل المطري المتغير بشكل فصلي بمنسوب مياه بحيرة التخزين . ويبين الشكل ٦-١مقدار انخفاض منسوب مياه بحيرة التخـــزين Z المتغيـــر مـــع الـــزمن مـــن ٢٠٠٦/١/١ و حتى ٢٠٠٩/٢/١٠ حسب مصادر مديرية حوض اليرموك في السويداء .

نلاحظ من الشكل أن منسوب مياه البحيرة يتغير بشكل دوري على طول السنتين ٢٠٠٦ و ٢٠٠٧ ، حيث يكون منسوب مياه البحيرة أعظميا في الـــشهرين الرابـــع والخـــامس و أخفض ما يمكن في الشهرين الحادي عشر و الثاني عشر من هاتين السنتين. لكن نلاحـــظ انخفاض منسوب مياه بحيرة التخزين في الشهر الرابع عام ٢٠٠٨ خلافا للشهر الرابع في السنتين ٢٠٠٦ و٢٠٠٧ حيث يجب أن يكون إملاء السد أعظميا في هذا الشهر ، و استمر انخفاض منسوب مياه بحيرة التخزين حتى ٢٠٠٩/٢/١٠ و ذلك بسبب قلـــة الهطـــولات المطرية في العام ٢٠٠٨ كما هو واضح في الشكل ٥-١، بالاضافة الى الضخ المـــستمر من بحيرة تخزين السد لاستخدامها كمياه شرب للقرى المحيطة وري الأراضي الزراعية.



الشكل ٦-١ مقدار انخفاض منسوب مياه بحيرة التخزين عن قمة السد (الحور الأفقي ٠)

٢-٣-١ درجة حرار مياه بحيرة التخزين و تركيز الأملاح المنحلة فيها:

a-٢-٣-١ درجة حرار مياه بحيرة التخزين:

تتميز البحيرات التي يزيد عمقها عن ١٥m في الأقاليم المعتدلة بتطبق مياهها في فصل الصيف، إذ تظهر طبقتان من الماء :

- طبقة سطحية دافئة جيدة التهوية يطلق عليها إسم Epilimnion تقل كثافة الماء فيها نسبياً.

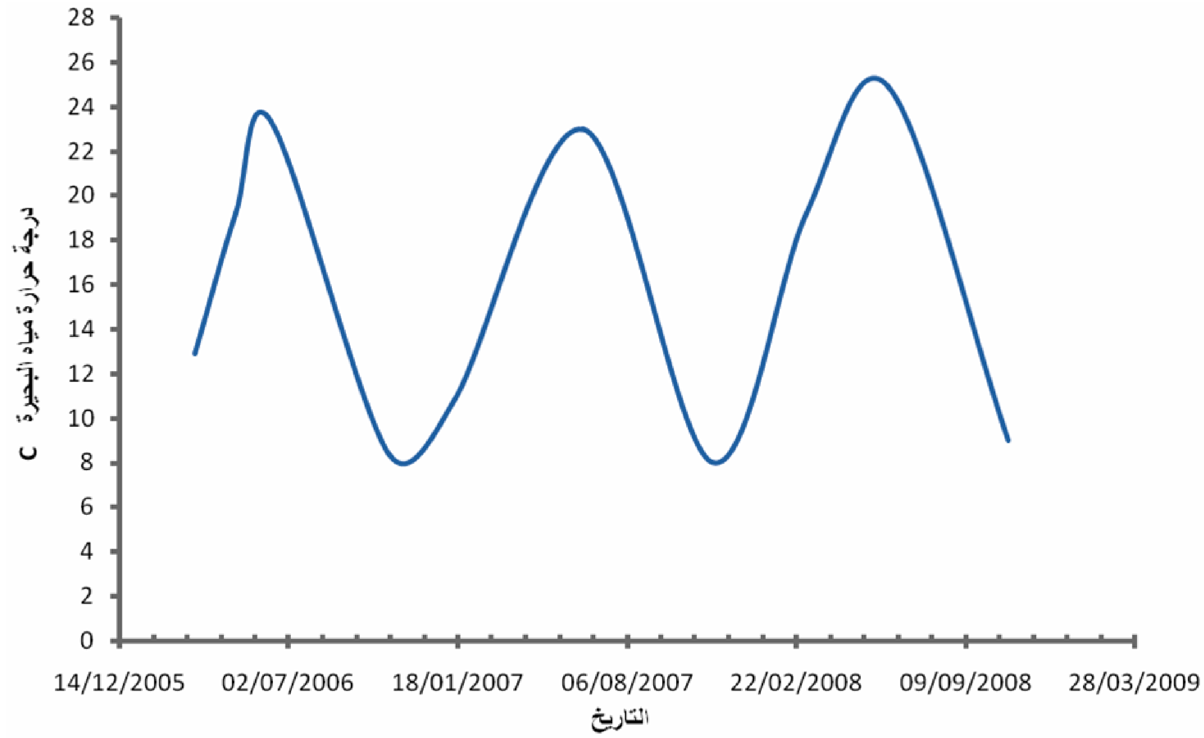
- طبقة سفلية باردة ذات كثافة مرتفعة نسبياً و تسمى بالطبقة المائية الباردة Hypolimnion.

وتسمى المنطقة الانتقالية بين الطبقتين بمنطقة التدرج الحراري Thermocline .

وتكون الطبقة السطحية أخف بحيث يعلو الماء الدافئ طبقة الماء البارد الأثقل وزناً، ويحدث اختلاط قليل بين الطبقتين، كذلك تبادل للغازات بواسطة عملية الانتشار وعمليات تيارات الحمل البسيطة.

في فصل الشتاء يبرد سطح الماء في الطبقة السطحية، ومن ثم تصبح درجة حرارة المياه في الطبقتين متماثلة ، كذلك كثافة الماء تصبح متجانسة نسبياً .

قامت مديرية حوض اليرموك بمراقبة درجة حرارة مياه بحيرة التخزين من تاريخ ١٣/٣/٢٠٠٦ حتى عام ٢٩/١٠/٢٠٠٨ بأخذ عينات سطحية فقط. و مثلت هذه النتائج بالشكل ٧-١ *(سيف،أ. ٢٠٠٨)*. نلاحظ من الشكل أن درجة حرارة مياه بحيرة التخزين تتغير بشكل دوري على طول السنة و تتراوح قيمة درجة الحرارة بين C° ٨ كحد أدنى في فصل الشتاء و ترتفع درجة الحرارة إلى C° ٢٥ كحد أعلى في فصل الصيف، أي يصل تباين درجة الحرارة الفصلية ١١٧ درجة مئوية.



الشكل ٧-١ تغير درجة حرارة مياه بحيرة التخزين بدلالة الزمن

b-٢-٣-١ تركيز الأملاح المنحلة في مياه بحيرة التخزين :

يتغير تركيز الأملاح المنحلة في مياه البحيرات مع العمق بحيث يكون التركيز منخفض في الطبقات المائية السطحية و يتزايد نحو الأسفل، وفي حالة حركة المياه الجوفية يزداد تركيز الأملاح المنحلة باتجاه الحركة. إذا وجد أي تغير فصلي في تركيز الأملاح المنحلة في مياه البحيرة فيتوقع أن يحدث في الطبقات السطحية بحيث يبقى تركيز الأملاح في الطبقات العميقة والقاع ثابتا .

قامت مديرية حوض اليرموك بمراقبة تركيز الأملاح المنحلة في مياه بحيرة التخزين (Total Disolved solids TDS)، بحيث كانت مترافقة مع مراقبة درجات حرارة مياه البحيرة وذلك بأخذ عينات سطحية فقط. يبين الشكل ٨-١ تغير تركيز الأملاح المنحلة من ١٣/٣/٢٠٠٦ حتى ١٠/٦/٢٠٠٨ (سيف،أ. ٢٠٠٨).

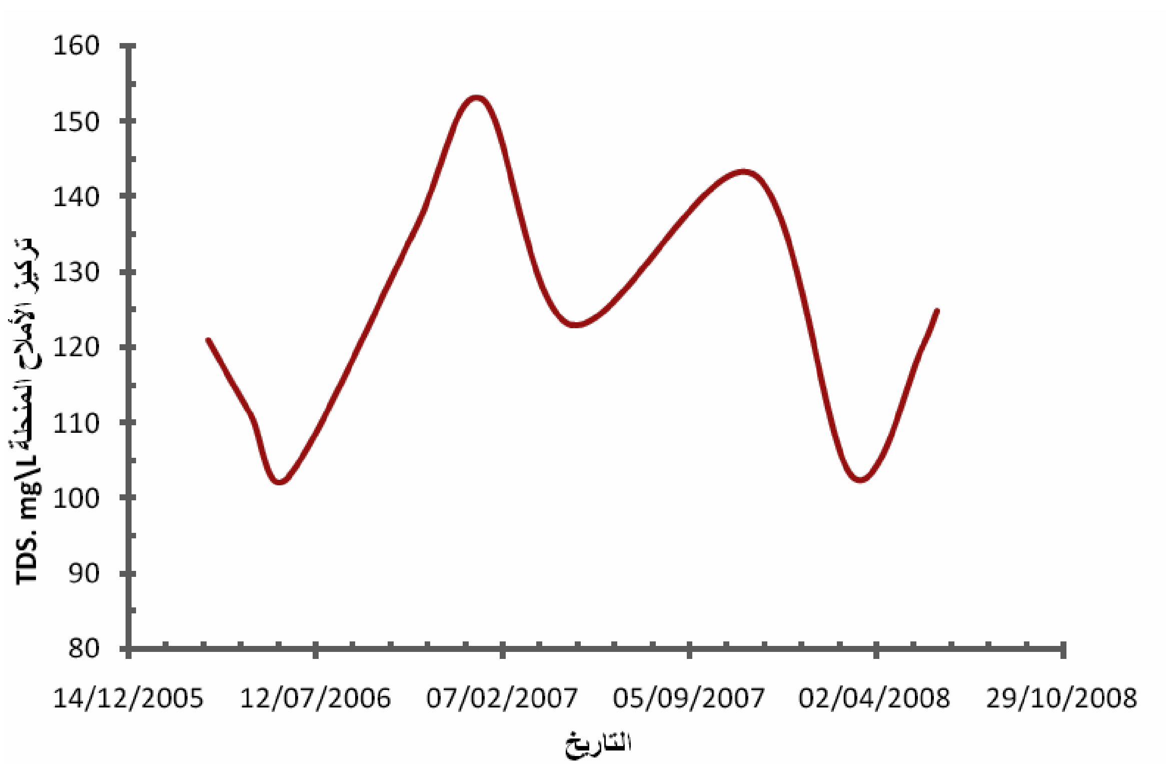
يتعلق تركيز الأملاح المنحلة في مياه بحيرة التخزين بتركيز الأملاح المنحلة في الوارد المائي المغذي. كما تلعب عدة عوامل أخرى دوراَ رئيسياَ في قيمة تركيز الأملاح المنحلة في مياه بحيرة التخزين أهمها:

- عميلة الإزهار الطحلبي في أحواض التخزين و البحيرات. حيث تنشط عميلة الإزدهار الطحلبي في نهاية الشهر العاشر حتى نهاية الشهر الثاني عشر، مطلقة شاردة الأمونيا في حوض التخزين بكثرة مما يرفع من قيمة تركيز الأملاح المنحلة في الشهر الحادي عشر تقريبا من كل سنة.

- يؤدي تبخر مياه بحيرة التخزين وانخفاض منسوب مياه البحيرة إلى انخفاض حجم البحيرة المائية و بالتالي ازدياد تركيز الأملاح المنحلة.

- يتم الضخ المستمر من مياه بحيرة التخزين في فصل الصيف من الطبقات السطحية الراكدة ذات تركيز الأملاح المنخفض، مما يرفع من تركيز الأملاح المنحلة في مياه البحيرة في فصل الشتاء.

لذلك نلاحظ في الشكل ٨-١ أن تركيز الأملاح المنحلة يرتفع بشكل كبير في الشهر الحادي عشر، و تنخفض بشكل عام في الشهرين الرابع و الخامس، و يكون التغير دورياً على طول السنة لكن بسعات مختلفة، بحيث تكون هذه الدورية معاكسة لدورية درجة الحرارة. تتراوح تراكيز الأملاح المنحلة بين mg/L ١٥٠ و mg/L ١٠٠ .



الشكل ٨-١ تغير تركيز الأملاح المنحلة في مياه بحيرة التخزين بدلالة الزمن

٤-١ بنية السد:

يبين الشكل ٩-١ الأقسام المكونة لجسم سد حبران، و يتألف ابتداء من الجزء المركزي له و باتجاه الأجزاء الخارجية من الأقسام التالية *(ستويانوف، س. (١٩٧٥))*:

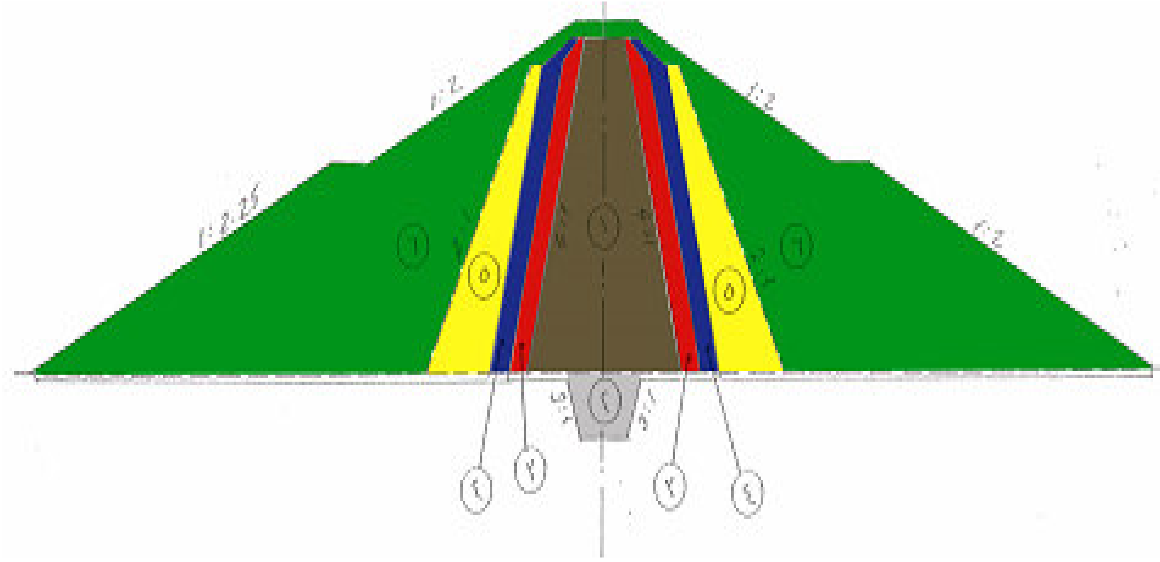
- نواة غضارية: هذه النواة الغضارية تكون مرصوصة علـى سـماكات cm ٣٠-٢٥ تميل جوانب النواة الغضارية باتجاه الداخل بزاوية ميلها (١/٠,١٦).

- أربعة فلاتر رملية متساوية الثخانة ، وتبلغ ثخانتها من الداخل إلى الخـارج: ٠,٦m- ٠,٦m- ٠,٣m- ٠,٣m و أبعاد الحبيبـات الرمليـة المكونـة لهـا علـى الترتيـب: (٠,٠١-٠,٢mm)،(٠,٢- ١mm)،(١- ١٠mm)،(١٠- ١٠٠mm)، تميـل هـذه الفلاتر نحو الداخل بزاوية ميلها (١/٠,١٦).

- طبقة من القطع الصخرية بقطر ٢٠cm-٥ تحيط بهذه الفلاتر، مرصوصة بشكل جيد. ثخانة هذه الطبقة قليلة في الجزء الأعلى من جسم السد ، وتزداد نحو الأسـفل بـصورة تدريجية. و ميل السطح الخارجي لهذه الطبقة يساوي (١/٠,٥).

- الجزء الخارجي و الأخير يغطي السد و هو عبارة عن قطع صخرية بقطر ٠,٢m-١ مرصوصة بشكل جيد، و ثخانة هذه الطبقة قليلة في الجزء الأعلى من جسم السد و تبـدأ بالزيادة نحو الأسفل بصورة تدريجية .ميل السطح الخارجي لهذه الطبقة يساوي(١/١,٥) .

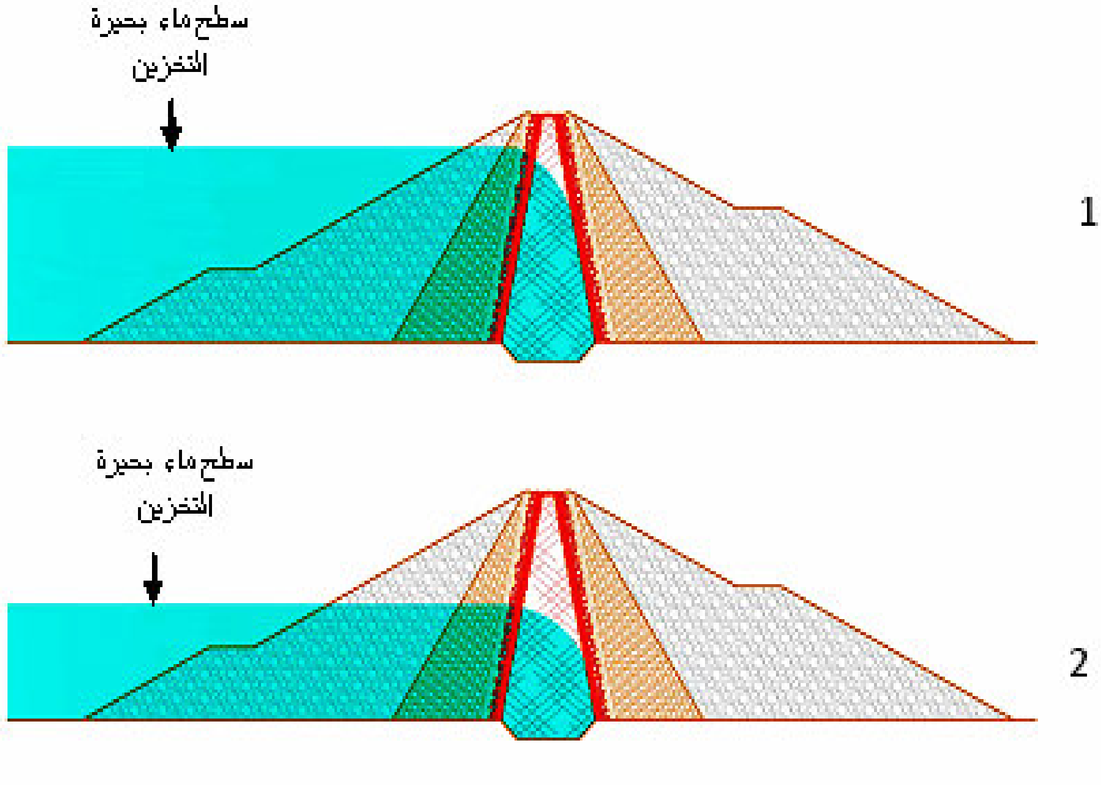
عند الإملاء الأعظمي لمياه بحيرة السد يقوم التدرج الحبي بالتقليل تدريجيا من كمية المياه الراشحة إلى داخل النواة ، و بالتالي يرسم منسوب الرشح داخل النواة الغضارية قوسـا ينكسر على سطح الفلاتر الرمليه للوجه الهوائي (الشكل١٠-١). تكون رطوبـة الغـضار الواقع أسفل منسوب الرشح أكبر بمقدار ٣%-٢ وسطيا عن الجزء الذي يعلـو منـسوب الرشح ، و لكن هذه القيمة متغيرة حسب نوعية و درجة رص و التركيب الحبي للغضار المكون للنواة. و بشكل عام تتراوح رطوبة النواة الغضارية لجـسم سـد حبـران بـين ٢٥%-١٨ *(منصوري،ع.(٢٠٠٥))*.



الشكل ٩-١ مقطع عرضة تخطيطي لجسم السد بمقياس ١/١٥٠٠٠

١- النواة الغضارية   ٢- مانعة الرشح الغضارية   ٣ - طبقة فلتر أولى   ٤- طبقة فلتر ثانية

٥- منطقة انتقالية حجرية   ٦- ردميات ركامية



الشكل ١٠-١ مقطع تمثيلي للسد في حالتي التخزين الأعظمي و الأصغري للبحيرة
١-مقطع السد في حالة منسوب المياه أعظميا في البحيرة
٢-مقطع السد في حالة منسوب المياه أصغريا في البحيرة

الفصل الثاني

الخواص الكهربائية و الطرائق الجيوكهربائية المستخدمة

٢-١المقاومية الكهربائية :

٢-١-١ مفهوم المقاومية الكهربائية و علاقة آرشي:

تتعلق المقاومية الكهربائية بطبيعة المواد الجيولوجية و تركيبها الكيميائي و تعتمد بشكل رئيسي على التغيرات في المحتوى المائي للصخور و الأملاح المنحلة في الماء .

تعتمد المقاومية الكهربائية للصخور بشكل كبير على كمية الفلزات الناقلة للتيار الكهربائي في الصخر ، و في الصخور الهشة تتحدد بكاملها عملياً بالشروط الهيدروجيولوجية التي توجد بها هذه الصخور.

يعبر عن قابلية وسط لنقل تيار كهربائي بالناقلية الكهربائية σ(s/m)، و مقلوب الناقلية الكهربائية هي المقاومية الكهربائية(ρ)أوم. م. عندما يطبق حقل كهربائي مستقر E(v/m) فخطوط التيار تخترق الأرض فتتشكل لدينا كثافة تيار J(A/m^2). ترتبط البارامترات السابقة بقانون أوم(Ohm)(في حالة وسط متجانس متماثل الخواص) ***(Ganish mainali ٢٠٠٧)*** :

$$E = \rho J = \frac{J}{\sigma} \qquad ١-٢$$

يعبر عن حجم المواد الموجودة في وسط معين بالطور الصلب (الفلزات و الصخور) و الطور الغازي(المسام و الشقوق و الشقوق المجهرية ....) و التي تشغل الفراغ بين المكونات الصلبة ، و لذلك مقاومية وسط معين مرتبط بمقاومية الطور الصلب و مقاوميات المواد المالئة للفراغ (هواء، ماء ، نفط ..)، و تحدد الناقلية الإلكتروليتية للوسط المسامي بشكل أساسي بمقاومية التشكيلة ، لذلك قيمة الناقلية المسامية سوف تحدد ناقلية الصخر بالمجمل ، بالإضافة إلى تأثير لشكل هذه المسامات .

إن العلاقة الأكثر استخداما و التي تربط بين المسامية Ø، و الإشباع المائي Sw، ومقاومية الإلكتروليت ρ_w و مقاومية الصخر الكلية ρ، تسمى بعلاقة آرشي Archie's low ***(Mainali,G.(٢٠٠٧))*** :

$$\rho = a\, \rho_w\, S_w^{-n}\, \emptyset^{-m} \qquad ٢-٢$$

حيث يتعلق العامل n بالإشباع المائي و عادة تكون قريبة من ٢ إذا كان أكثر من ٣٠٪ من المسامات مملوءة بالمياه ، و تكون قيمة n أكبر من ٢ إذا كانت نسبة المسامات مملوءة بالماء أقل من ٣٠٪. الثابت m هو عامل السمنتة و الذي يتغير بدرجة تراص و تماسك الطبقة الصخرية ، و يتغير من ١,٣ للرسوبيات الرخوة العائدة للعصر السينوزوي إلى حوالي ١,٩٥ للصخور المسمنتة بشكل جيد و العائدة للعصر الباليوزوي. و العامل a عادة يساوي ١.

النسيج الصخري لا يمكن اعتباره كعازل عند وجود الفلزات الغضارية ، فالفلزات الغضارية نواقل جيدة بسبب وجود أيونات ملتصقة بالحبيبات الغضارية نتيجة إمتزاز القناة الشعرية للشوارد ذات الشحنة الواحدة (عادة سالبة – أنيون – التي تملك قطر شحني كبير)على الحدود الفاصلة بين المحلول و المادة الصلبة لجدار القناة مشكلة طبقة كهربائية ثنائية ثابتة مكونة من بطانتين : بطانة خارجية من الشوارد السالبة و أخرى داخلية من الشوارد الموجبة . و مقاومية الطبقة الكهربائية الثنائية هي المقاومية السطحية $\rho_s = 1/\sigma_s$ و المقدرة بالأوم . متر . و مقاومية الوسط عند وجود الظاهرة السابقة تعطى بقانون آرشي المعدل ***(Mainali,G.(٢٠٠٧))***:

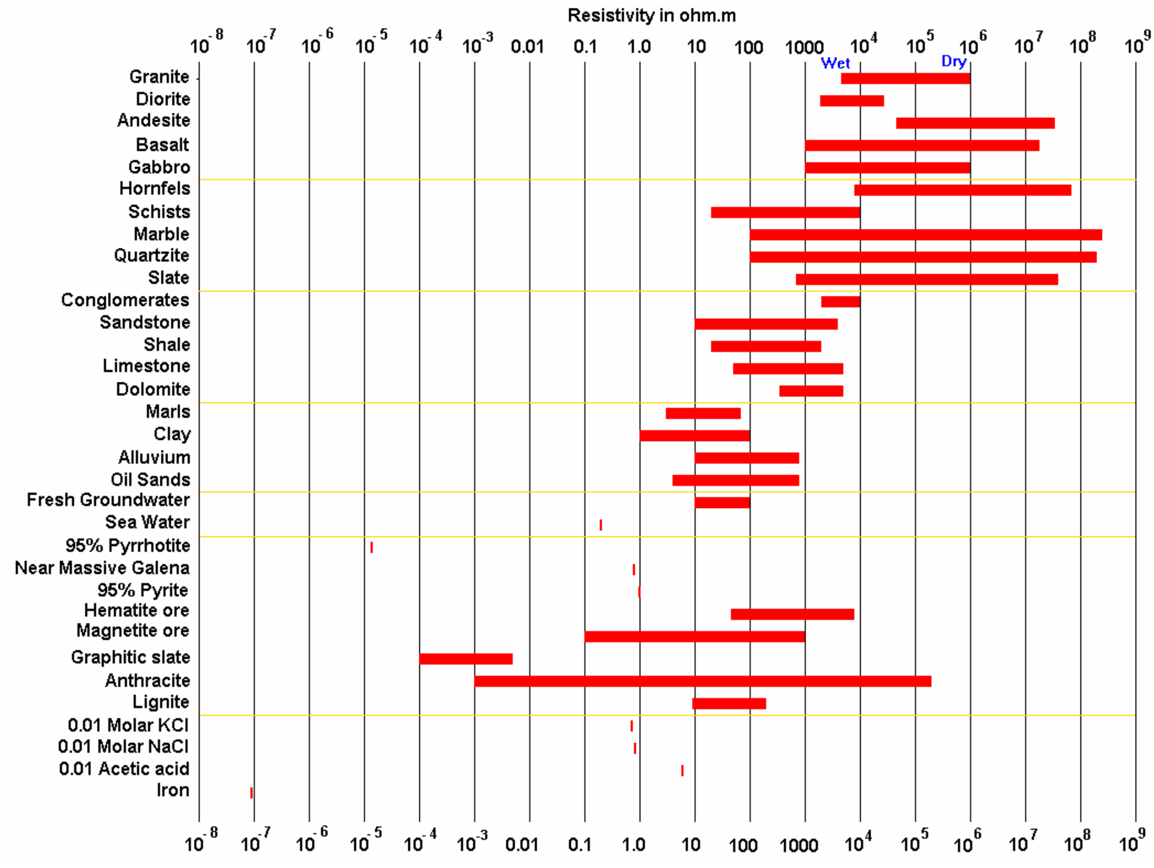
$$\rho = a\, \rho_w\, S_w^{-n}\, \emptyset^{-m} + \sigma s \qquad ٢-٣$$

توجد هذه الظاهرة في الفلزات السيليكاتية لحد ما . ومن أجل الصخور المتبلورة أو المسمنتة يمكن لهذه الظاهرة أن تحدد الناقلية الكلية للصخر حتى مع عدم وجود غضار.

٢-١-٢ تغير المقاومية الكهربائية الفصلي للنواة الغضارية :

تتميز الصخور الغضارية بانخفاض قيمة مقاوميتها من جهة و بمحدودية مجال تغير هذه المقاومية من جهة أخرى.

تبين الجداول والمخططات في المراجع البتروفيزيائية أن المجال النموذجي للمقاميات الكهربائية للغضار تتراوح من ١Ωm. في حالة الإشباع المائي إلى ١٠٠Ωm في حالة الجفاف الكامل، كما هو موضح في الشكل ١-٢ ***(Loke. ١٩٩٧)***.



الشكل ١-٢ مجالات نموذجية للمقاوميات الكهربائية للمواد الأرضية

(Loke ١٩٩٧)

تمتد مياه بحيرة التخزين إلى داخل النواة الغضارية، لذلك يعتمد مراقبة تغير المقاومية الكهربائية للنواة الغضارية حسب علاقة آرشي على مراقبة المقاومية الكهربائية لمياه بحيرة التخزين ρ_w و التي تعتمد بدورها على تركيز الأملاح المنحلة فيها، و درجة حرارة مياه البحيرة. و حسب علاقة آرشي أيضا تعتمد المقاومية الكهربائية للنواة الغضارية على الإشباع المائي S_w للغضار بالمياه الممتدة من البحيرة.

a-٢-١-٢ المقاومية الكهربائية للمياه :

تعتمد المقاومية النوعية للمياه على تركيز الأملاح المنحله فيها، و درجة حرارة مياه البحيرة (الشكلين٢-٢ و ٢-٣) حسب *(دورتمان،ن،ب. ١٩٦٤)* .

تعمل القيم العالية لتراكيز الأملاح المنحلة على خفض المقاومية الكهربائية لمياه بحيرة التخزين و النواة الغضارية .

وضع ***(Klien,S.(٢٠٠٣))*** علاقة تربط الناقلية الإلكتروليتية(σ_w. ms/m) و تركيز الأملاح المنحلة (TDS.mg/L) :

$$\sigma_w = ٠,١٥\ (TDS) \qquad ٢-٤$$

تتغير أيضا قيمة المقاومية الكهربائية لمياه البحيرة تبعا لدرجة حرارتها ، بسبب أن لزوجة الماء تنخفض عند درجات حرارة عالية، و بالتالي تصبح حركية الأيونات أكبر .

وضع ***(Killer,F.(١٩٦٦))*** علاقة تربط المقاومية الكهربائية ρ_T عند دجات حرارة مختلفة T مع المقاومية الكهربائية عند درجة حرارة ١٨C ، $\rho_{١٨}$:

$$\rho T = \frac{\rho 18}{1 + \alpha(T - 18)} \qquad ٢-٥$$

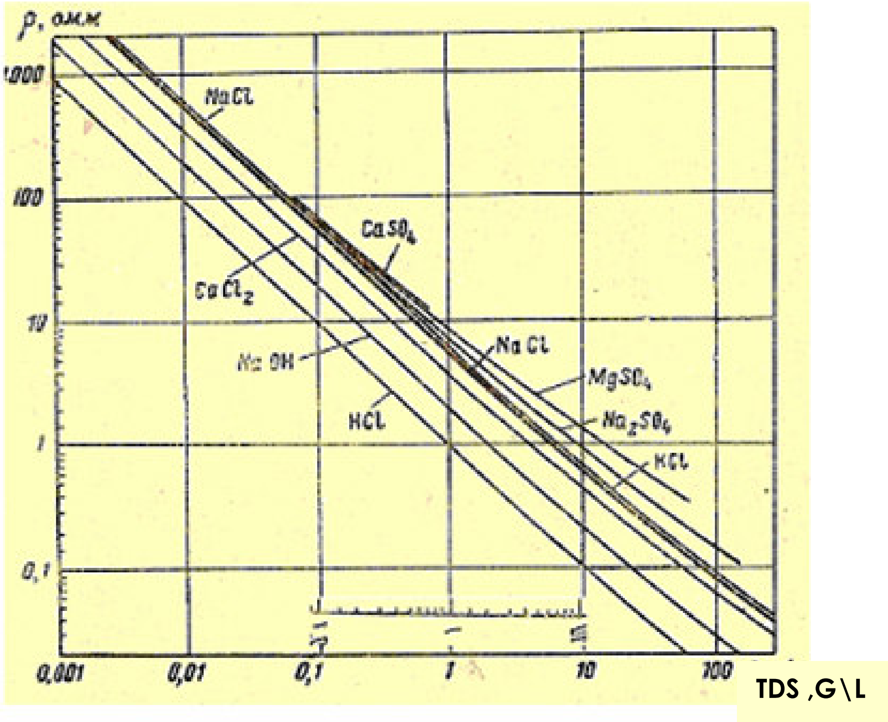
α: العامل الحراري للناقلية، ذو تغيرات محددة لأجل المحاليل المائية للأملاح المختلفة و ضمن المجال الحراري C ٥٠-١٨ و يساوي ٠,٠٢٥C.

إذا ما دققنا في المخططات الموضحة في الشكل ٣-٢ نلاحظ أنه عندما تتغير درجة حرارة و تركيز الأملاح المنحلة في مياه بحيرة سد حبران ضمن المجال الموضح في الفقرة b-٢-٣-١ (T=١٠→٢٥ C°, TDS=١٠٠→١٥٠ mg\L) فإن تغير المقاومية الكهربائية لمياه بحيرة السد بتأثير تغير درجات الحرارة المحلية يكون ضئيلا جدا بالمقارنة مع تأثير تركيز الأملاح المنحلة ، لذلك تركيز الأملاح المنحلة TDS هو العامل المسيطر على تغير قيم المقاومية الكهربائية لمياه البحيرة، و النواة الغضارية .

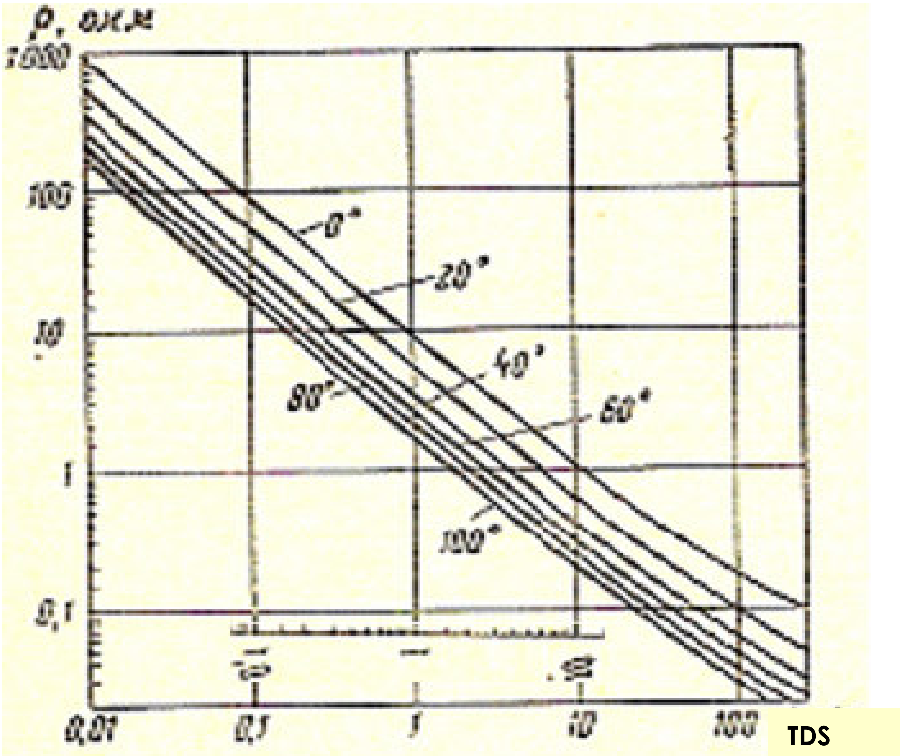
b-٢-١-٢ درجة الإشباع :

يتبع منسوب المياه الراشح ضمن النواة الغضارية منسوب مياه بحيرة التخزين عند تغيره، لذلك تتغير درجة إشباع و المقاومية الكهربائية للجزء من النواة الغضارية الواقع ضمن مجال ارتفاع و انخفاض منسوب الرشح .

في حال وجود نطاق مخلخل في النواة الغضارية الواقعة أسفل منسوب الرشح ، تدخل خلاله مياه البحيرة إلى جسم السد ، تتغير عندئذ درجة الإشباع و المقامية الكهربائية للنطاق المخلخل تبعا لمنسوب مياه بحيرة التخزين .



الشكل ٢-٢ مخطط علاقة المقاومية الكهربائية للمياه بتركيز الأملاح و بنوعيتها

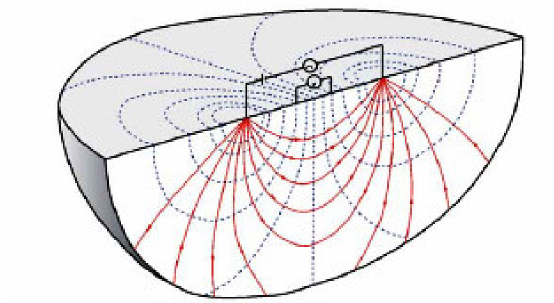


الشكل ٣-٢ مخطط علاقة المقاومية الكهربائية للمياه بتركيز الأملاح و درجة الحرارة

٣-١-٢ قياس المقاومية الكهربائية باستخدام السبر الجيوكهربائي الشاقولي :

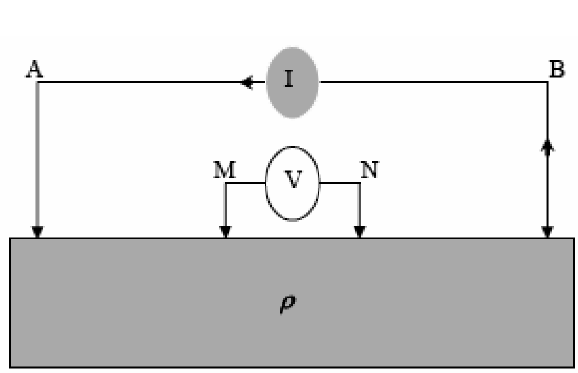
السبر الجيوكهربائي الشاقولي هي إحدى الطرائق الجيوكهربائية التي تمكن من دراسة التوزع الشاقولي للمقاوميات الكهربائية للمقطع الجيولوجي من خلال تمرير حقل كهربائي على سطح الأرض ، و قياس فرق الكمون الناتج بمسريين آخرين ، وحساب المقاوميات الكهربائية الظاهرية من القياسات الناتجة ، ويزداد عمق الاستكشاف بزيادة البعد بين مساري التيار .

بفرض وسط نصف فراغي متجانس و متماثل الخواص ، و مساري التيار مغروسة على سطح الأرض، تكون خطوط تساوي الكمون نصف كروية . و يبين الشكل٤-٢ بنية الحقل الكهربائي(نمط توزع خطوط التيار و خطوط تساوي الكمون) في حالة الوسط متجانس و متماثل الخواص .



الشكل ٤-٢ توزع خطوط التيار الكهربائي و خطوط تساوي الكمون في حالة وسط متجانس

تنفذ قياسات المقاومية بإرسال تيار كهربائي من خلال مسريين A,B موصولين إلى مصدر تغذية كهربائي ، و يقاس فرق الكمون الناتج على سطح الأرض بمسريين M,N ، الشكل٥-٢



الشكل ٥-٢ رسم توضيحي للتشكيل المستخدم لقياس المقاومية الكهربائية على السطح

يعتمد حقل الكمون المتولد في الأرض على تــوزع المقاومـــة الكهربائيـــة ، و تحـــسب المقاومية الكهربائية باستخدام المعادلة :

$$\rho = \frac{2\pi}{(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN})} \times \left(\frac{\Delta V}{I}\right) \qquad ٢-٦$$

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \qquad ٢-٧$$

K هو العامل الجيومتري الذي يعتمد على توزع المساري الأربعة A,B,M,N .

$$K = \frac{2\pi}{(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN})} \qquad ٢-٨$$

تستخدم المعادلات السابقة لحساب المقاومية الكهربائية الظاهرية للبنية تحت سطحية إذا كان الوسط متجانسا ، عندئذ تكون المقاومية الكهربائية التي نحصل عليها من هذه القياسات تساوي المقاومية الكهربائية الحقيقة . و إذا كانت الأرض غير متجانسة فإن المقاومية الكهربائية الظاهرية المحسوبة من المعادلات السابقة تسمى المقاومية الكهربائية الظاهرية ρ_a ، و التي تعالج بالتفسير الكمي (يدويا أو حاسوبيا) لتحسب منها المقاومية الكهربائية الحقيقية. تكون المقاومية الكهربائية الظاهرية قريبة من المقاومية الكهربائية الحقيقية في جوار المساري في عندما تكون الأبعاد بين المساري صغيرة جدا .

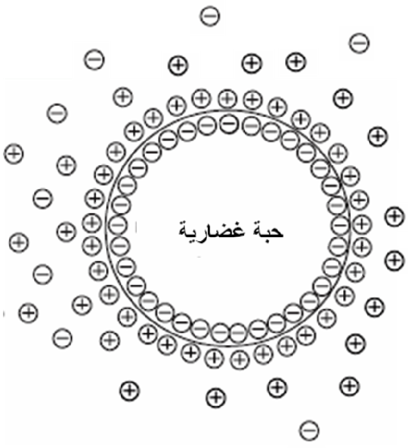
٢-٢ الاستقطابية التحريضية :

عند تطبيق حقل كهربائي على صخر ما فإن هذا الصخر يستقطب ، أي أن الشحنات الكهربائية الموجودة في السائل الكهرليتي المالئ لمسامات و شقوق هذه الصخر تأخذ توجها منتظما مولدة حقل كهربائي يتجه بشكل معاكس للحقل الخارجي المطبق و يعاكسه ، و بعد قطع التيار تظهر كمونات متبقية تسمى كمونات محرضة ، ناتجة عن إعادة توزع الشحنات في السائل الكهرليتي ، و تختفي بعد فترة زمنية تسمى بزمن التخامد τ و يرتبط هذا البارمتر بحجم الحبات التي تتمتع بخاصية الاستقطاب الغشائي ***(Kiberu,j.(٢٠٠٢))***. و يرتبط الاستقطاب التحريضي بالعمليات الجارية في الصخور على سطوح التماس بين الأطوار الصلبة و السائلة .

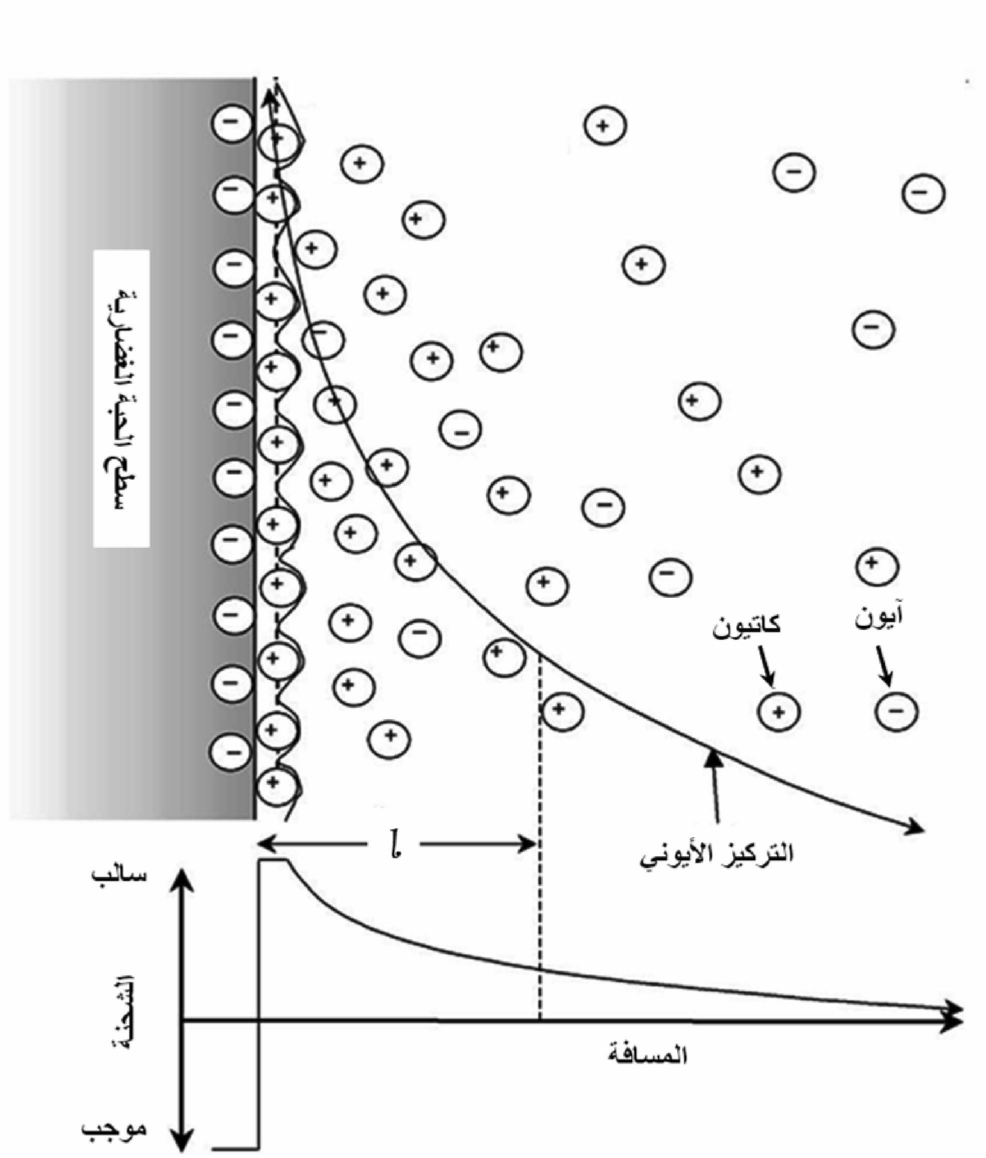
١-٢-٢ أنواع و منشأ الاستقطاب التحريضي :

a-١-٢-٢ الاستقطاب الغشائي:

يميز هذا النوع من الاستقطاب الغضاريات ، في حالة عدم وجود تيار كهربائي خارجي مطبق ، تتشكل على سطح الحبات الغضارية و المحاطة بسائل حاوي على محلول آيوني (على تماس طوري الصلب والسائل) طبقة كهربائية ثنائية نتيجة إمتزاز الشوارد السالبة، و التي تعمل بدورها إلى جذب الشحنات الموجبة إلى مقابلها مشكلة ثنائيات قطب و كمونات ناتجة عن ثنائيات الأقطاب تسمى بالكمون الغشائي كما في الشكل٦-٢، و يتناقص الكمون الناتج عنها كلما ابتعدنا عن هذه الطبقة الكهربائية المضاعفة كما في الشكل٧-٢. و تعرف سماكة الطبقة الكهربائية المضاعفة DEL بالبعد بين سطح الحبة الغضارية و منتصف المسافة التي يتخامد عندها الكمون الغشائي . ترتبط بطانة الطبقة الكهربائية بقوة مع السطح الصلب للذرة ، والخارجية سميكة لا يزيد سمكها عن (٠,١ ميلي مكرون متر) . وتتألف بدورها من طبقتين ، الطبيقة الأولى ملتصقة مباشرة بالبطانة الداخلية ، و يمكن للشحنات أن تنزاح في حدود الطبقة على طولها فقط .أما الطبيقة الثانية تملك بنية انتشارية ، تتحرك الايونات في داخلها حركة غير منتظمة ، تكون الطبقة الكهربائية الثنائية عند انعدام الحقل الكهربائي الخارجي معتدلة كهربائياً. تتأثر تلك الطبقة بالحقل الكهربائي الخارجي ، فتنزاح بطانة الطبقة و يختل التوازن الكهربائي في الطبقة ، و يشكل هذا الاختلال منبع حقل جديد ، يتراكب على الحقل الخارجي ، و يعاكس اتجاهه . و عند قطع التيار الكهربائي تعيد هذه الشحنات الكهربائية توزعها مما يولد طاقة كهربائية متبقية تسمى كمونات محرضة . تتعلق استقطابية الصخور ذات الناقلية الايونية بخطوط السطح الفاصل بين الطور الصلب و السائل ، و نوع ناقلية الطور الصلب ، و التركيب الحبي للصخور و الرطوبة والملوحة ومؤشرات أخرى خاصة.



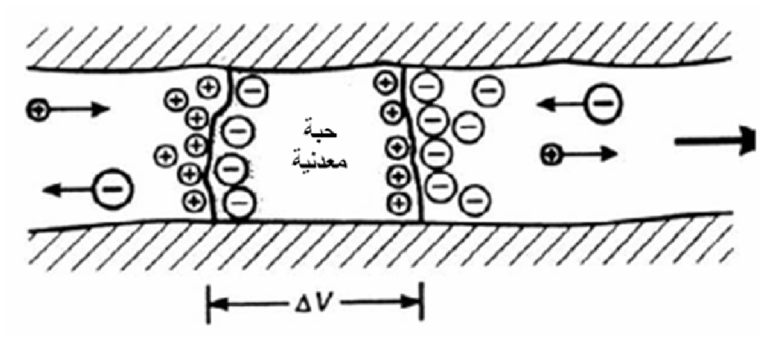
الشكل ٦-٢ الطبقة الكهربائية الثنائية المتشكلة على سطح حبة الغضار



الشكل ٧-٢ تناقص الكمون الناتج عن الطبقة الكهربائية المضاعفة بازدياد البعد عن هذه الطبقة

b-١-٢-٢ الاستقطاب المعدني:

ينشأ هذا النوع من الاستقطاب في الصخور المتمعدنة . عندما يطبق حقل كهربائي خارجي ، ينتقل هذا التيار بواسطة الشوارد السالبة في السائل الكهرليتي ، و عندما تصادف هذه الشوارد حبة معدنية ، تقوم هذه الحبة المعدنية بتوليد كمون يعاند سير التيار الكهربائي الخارجي ، بحيث تتجمع الشحنات الموجبة على طرف هذه الحبة المعدنية التي يدخل منها التيار الكهربائية ، أما الشحنات السالبة فتتجمع على طرف هذه الحبة المعدنية التي يخرج منها التيار كما في الشكل ٨-٢ .و عند قطع هذا التيار الكهربائي الخارجي المطبق ، يبقى كمون متبقي موجود على هذه الحبة المعدنية على السطح الفاصل بين الحبة المعدنية و الكهرليت و يخف مع الوقت عندما تنتشر الأيونات ببطء في الكهرليت المالئ للمسامات و ظاهرة الانتشار البطيء للأيونات ضمن الكهرليت ينشأ عنها ما يسمى الاستقطاب التحريضي ((Kiberu,j.(٢٠٠٢.

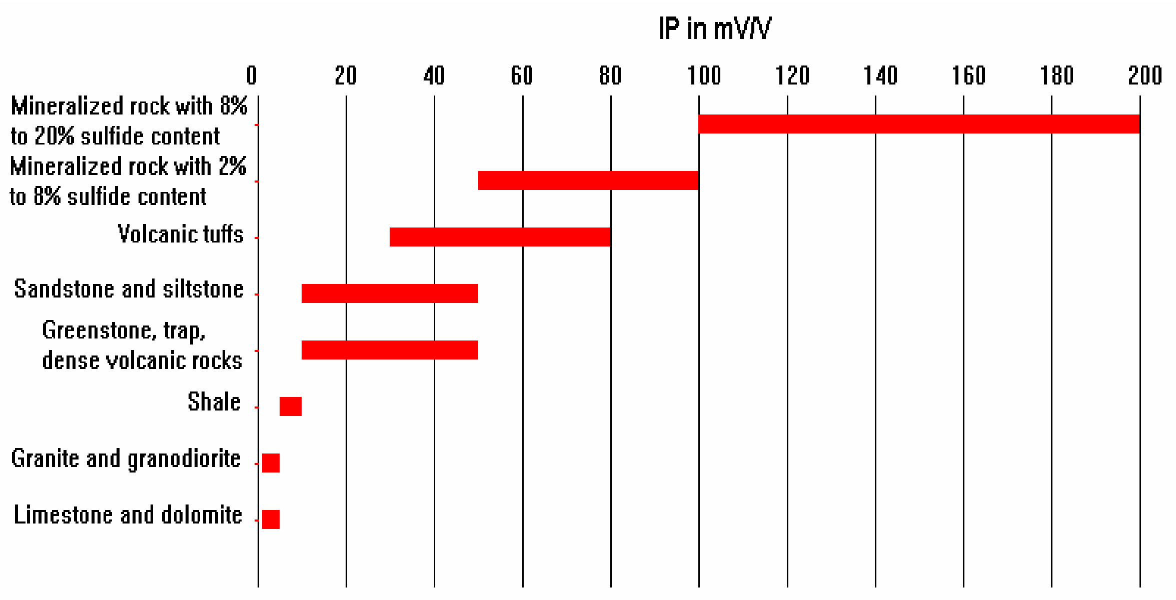


الشكل ٨-٢ مخطط إيضاحي لكيفية نشوء الاستقطاب المعدني

٢-٢-٢ تغير الاستقطابية التحريضية الفصلي للنواة الغضارية :

تعتبر طبيعة الاستقطاب التحريضي المقاس عند دراسة جسم السد هو من النوع الغشائي. يبين الشكل ٩-٢ قيم قابلية الشحن لبعض المواد و الفلزات مقدرة (mv/v) الموضوعة من قبل ((Loke, M.H. (٢٠٠٤. وقابلية الشحن هو إحدى بارمترات قياس الاستقطاب التحريضي. تتمتع الصخور الرملية و السلتية و التي تحتوي على نسب كبيرة من الغضاريات بقابلية شحن تتراوح بين ١٠-٥٠mv/v. كما هو مبين في الشكل٩-٢.

تتغير الاستقطابية التحريضية للنواة الغضارية بتغير رطوبة النواة الغضارية و درجة حرارة مياه بحيرة التخزين و تركيز الأملاح المنحلة .



الشكل ٩-٢ قابلية الشحن لبعض الفلزات و الصخور(mv/v)

a-٢-٢-٢ الرطوبة:

تزداد استقطابية الصخور الرملية و الغضارية مع زيادة الرطوبة حتى ٢٠٪، و لكن مع استمرار زيادة الرطوبة يبدأ الاستقطاب بالانخفاض، لأنه عندما تكون الرطوبة قليلة تكون ناقلية الغضار هي المسيطرة، ومع ازدياد الرطوبة عن النسبة المذكورة يزداد تأثير ناقلية المياه في الصخر. ومن المعلوم ان استقطابية المياه منخفضة. كما ان ازدياد الرطوبة سيؤثر على طبيعة الطبقة الكهربائية الثنائية مما يؤدي بشكل سلبي على الاستقطابية .

b-٢-٢-٢ تركيز الأملاح المنحلة و درجة الحرارة:

هناك علاقة معقدة بين الاستقطابية ودرجة الحرارة والأملاح المنحلة بحيث يلعب نوع الأملاح المنحلة ودرجة PH في تحديد قيمة الاستقطابية، وأيضا يتغير تأثر الاستقطابية بهذه العوامل حسب نوع بارمتر الاستقطابية المستخدم في القياس . فقابلية الشحن- و هو البارمتر المستخدم في دراستنا - يساوي نسبة الكمون المتخامد المقاس بعد قطع التيار بفترة زمنية قصيرة جدا إلى الكمون المقاس بين مساري الكمون أثناء تمرير التيار. يستخدم الكمون المقاس أيضا قبل قطع التيار في علاقة المقاومية الكهربائية الظاهرية بحيث تكون المقاومية الكهربائية الظاهرية متناسبة طردا مع الكمون المقاس قبل قطع التيار (العلاقة ٩-٢)، لذلك فقيم قابلية الشحن تبدي عادة تأثرا معاكسا لتأثر المقاومية الكهربائية بدرجة الحرارة و الملوحة *(Brandes,I.M. (٢٠٠٥)* .

٣-٢-٢ قياس الاستقطاب التحريضي في المجال الزمني(قابلية الشحن):

تستخدم في قياس الاستقطاب التحريضي تشكيلات رباعية الأقطاب كتلك المستخدمة في طريقة المقاومية . وهنالك طريقتان لقياس هذا الاستقطاب لهما نفس الأسس النظرية:

- القياس في مجال الزمن (Time domain) : يتم إرسال تيار كهربائي مستمر في الأرض و البارمتر المسجل هنا هو قابلية الشحن M(chargeability).

- القياس في مجال التردد (Frequency domain) : يتم إرسال تيار متناوب في الأرض و حساب بارمترات للاستقطاب التحريضي تعتمد على قياس المقاومية الكهربائية الظاهرية المتغيرة بتغير تردد التيار، مثل تأثير التردد FE (Frequency effect) و العامل المعدني العامل المعدني MF (metal factor) .

- يوجد نوع آخر من أنواع قياس الاستقطاب التحريضي في مجال التردد و يسمى قياس الاستقطاب التحريضي الطيفي (Complex Resistivity (Spectral IP و يسمى أيضا بقياس المعاوقة الكهربائية Z(w) *(شقير،ف. ١٩٩٣)* ، بحيث يتم هنا إرسال تيار متناوب في الأرض ، تواتر هذا التيار يتراوح بين (٠,٠٠١،١٠ KHz)، و يتم قياس سعة الكمون و زاوية طور هذا الكمون و المعبر عنها بزاوية طور الاستقطاب التحريضي .

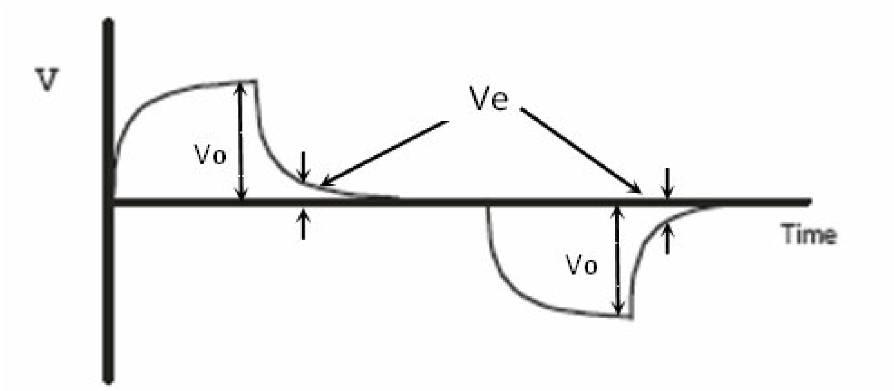
و كلا من هاتين الطريقتين (قياس الاستقطابية في مجال الزمن و قياس الاستقطابية في مجال التردد) تتأثران بنفس عوامل التشويش الكموني الخارجي مثل التيارات التللورية ، و التقارن السعوي (Capacitive coupling) و هو حدوث تسرب للتيار الكهربائي بين مسربي التيار و أسلاك الكمون ، وذلك بسبب أن الطبقة العازلة المحيطة بالأسلاك سيئة و تسمح بمرور التيار)، و التقارن الكهرمغنطيسي (Electromagnetic coupling أسوأ أنواع التشويش و ينتج عن التحريض بين أسلاك التيار و أسلاك الكمون و يم مباشرة بين الأسلاك أو عبر الصخور و يزداد شدته كلما كانت هذه الأسلاك أكثر طولا و ازداد التردد **(Kiberu,j.(٢٠٠٢**)، و غيرها من مصادر التشويش مثل خطوط الطاقة و خطوط التيار الكهربائي و أنابيب المياه المعدنية المدفونة ..... ***Telford et al) (١٩٧٦).***

تتميز طريقة قياس الاستقطاب التحريضي في مجال الزمن بأنها قليلة التأثر بالتقارن الكهرطيسي و ذلك لعدم وجود تيار ساري في الأسلاك الموصولة لمساري التيار ، و بالتالي لا يوجد تحريض ناتج عن هذه الأسلاك مؤثر على أسلاك مساري الكمون كما أن

هذه الطريقة يتم قياسها مع قياسات المقاومية الكهربائية و بالتالي تكون أسرع ، و تتطلب جهد أقل **((Telfrad et al .(١٩٩٠).**

والجدير بالذكر أن قياسات الاستقطابية التي جرت على جسم سد حبران ، كانت قياسات قابلية الشحن فقط ،أي قياس استقطاب تحريضي في مجال الزمن.

يتم قياس قابلية الشحن m بإيصال نبضات تربيعية من التيار المستمر إلى الأرض بواسطة مساري تيار . يستمر التيار لبضع ثواني ، و عند قطع التيار الكهربائي يتخامد الكمون V٠ بعد فترة زمنية قصيرة جدا . يقاس فرق الكمون المتخامد هذا Ve بمساري الكمون بعد انقطاع التيار مباشرة بفترة زمنية قصيرة جدا. يعاد إرسال النبضة الكهربائية التربيعية من جديد بعد تغيير قطبيتها و هكذا كما في الشكل١٠-٢



الشكل ١٠-٢ مبدأ قياس الاستقطاب التحريضي في مجال الزمن

و تعطى علاقة قابلية الشحن m بالشكل التالي **((G.O.Seigel - V.A.Komarov (١٩٥٩)):**

$$m = \frac{Ve}{Vo} \quad (mv/v)$$ ٢-٩

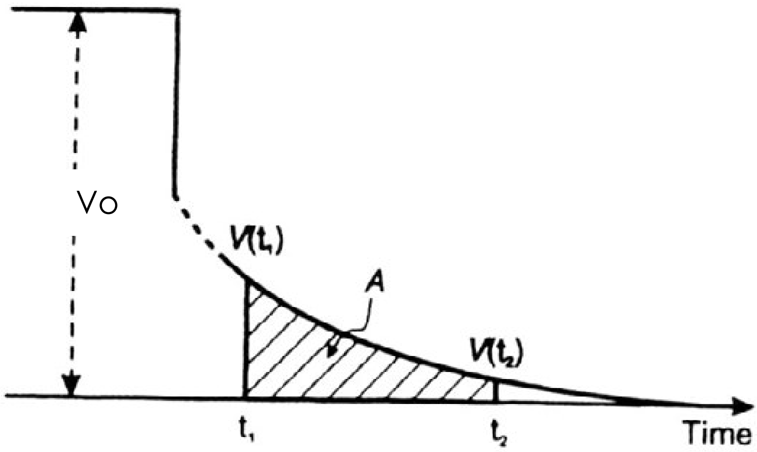
و قد يتم قياس قابلية الشحن بواسطة قياس الكمون المتخامد بعد فترة زمنية قصيرة من قطع التيار، عندئذ تحسب مساحة المنطقة أسفل منحني الكمون المتخامد و المحصور بين زمنين t١ و t٢كما في الشكل ١١-٢ . تكامل تابع الكمون المتخامد بدلالة الزمن $Ve_{(t)}$ يعطي مساحة المنطقة A الموضحة في الشكل١١-٢ ، ثم يقسم الناتج على الكمون المحرض Vo و نحصل قابلية الشحن لكن مقدره بالميللي ثانية **((K. Duckworth.(١٩٨٣)** :

$$m = \frac{1}{Vo}\int_{t1}^{t2} Ve(t)\,dt = \frac{A}{Vo} \qquad (m\,sec)$$ ٢-١٠

و قابلية الشحن المقاس بهذه الطريقة تعاير عند تفسيرها بمقياس نيوتن *(Summer ١٩٧٦)*، بحيث يتم حساب التكامل من t١=٠,١ sec إلى t٢=١,١ sec و فق العلاقة ***(Van Voorhis et al.(١٩٧٣))***

$$m = \frac{1870}{Vo}\int_{0.15}^{1.1} Ve(t)\,dt \qquad (m\,sec)$$ ٢-١١

بهذه الطريقة نحصل على قابلية شحن مقدرة(m sec) ذات قيمة مساوية قابلية الشحن مقدرة (mv/v) ، و قابلية الشحن المقاسة بالعلاقتين السابقتين ظاهرية ، يجب تفسيرها.



الشكل ١١-٢ منحني الكمون المتخامد ، و المساحة المحصورة التي تعبر عن عامل الشحن

٤-٢-٢ القيم السالبة لقابلية شحن الغضاريات :

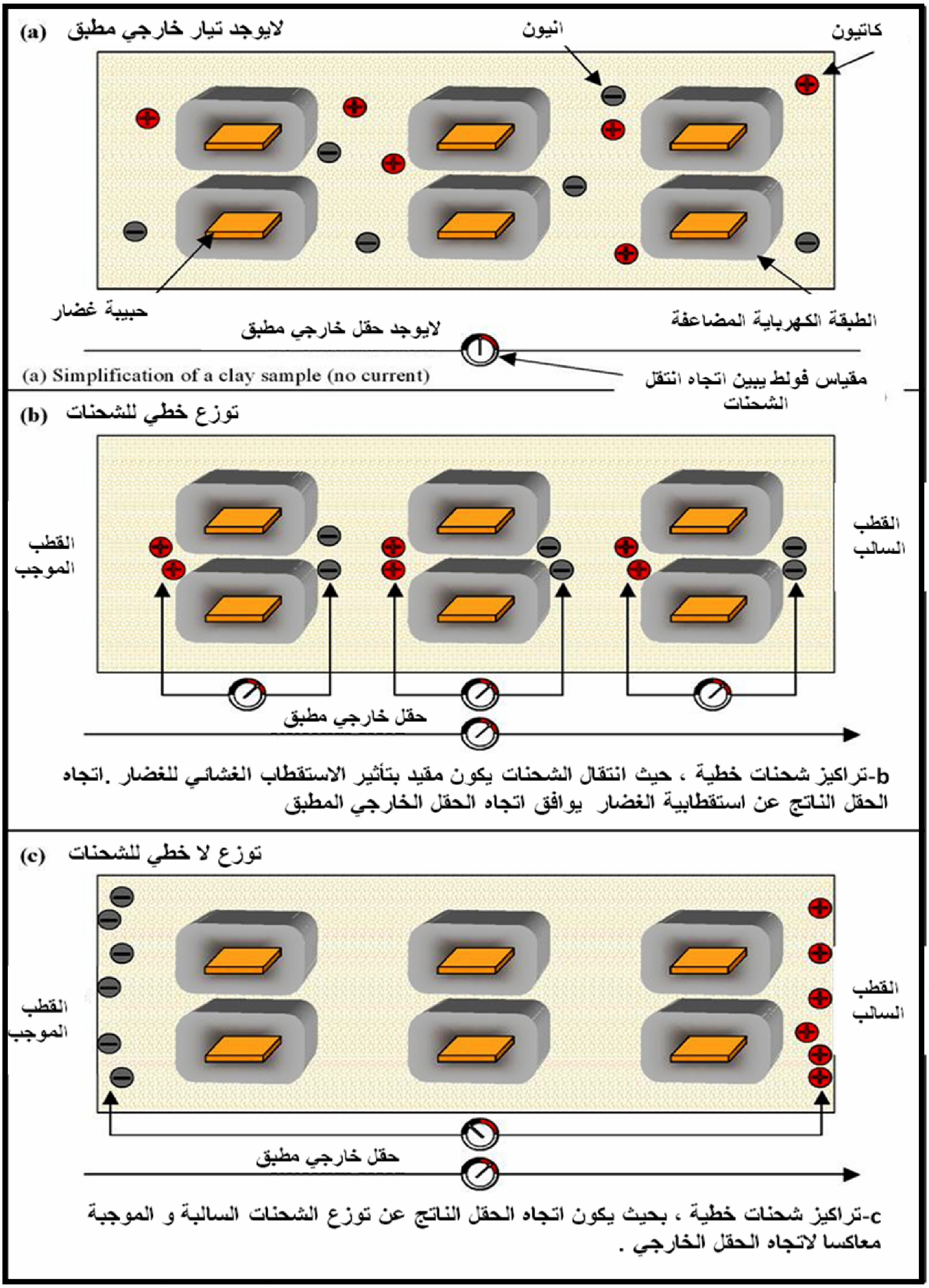
لاحظ العديد من علماء الجيوفيزياء وجود قيم سالبة لقابلية الشحن أثناء القيام بدراسات حقلية و تجارب مخبرية لدراسة قابلية شحن المواد الغضارية ، وقد بينت دراسات سابقة على عينات مكونة من مزيج غضاري رملي بنسب مختلفة ، أن القيم السالبة لقابلية الشحن تظهر

عندما يتجاوز نسبة الغضار ٩٠٪ *(Brandes,I.M. (٢٠٠٥))* ، و قد تم وضع العديد من الأسباب لتفسير القيم السالبة لقابلية الشحن .

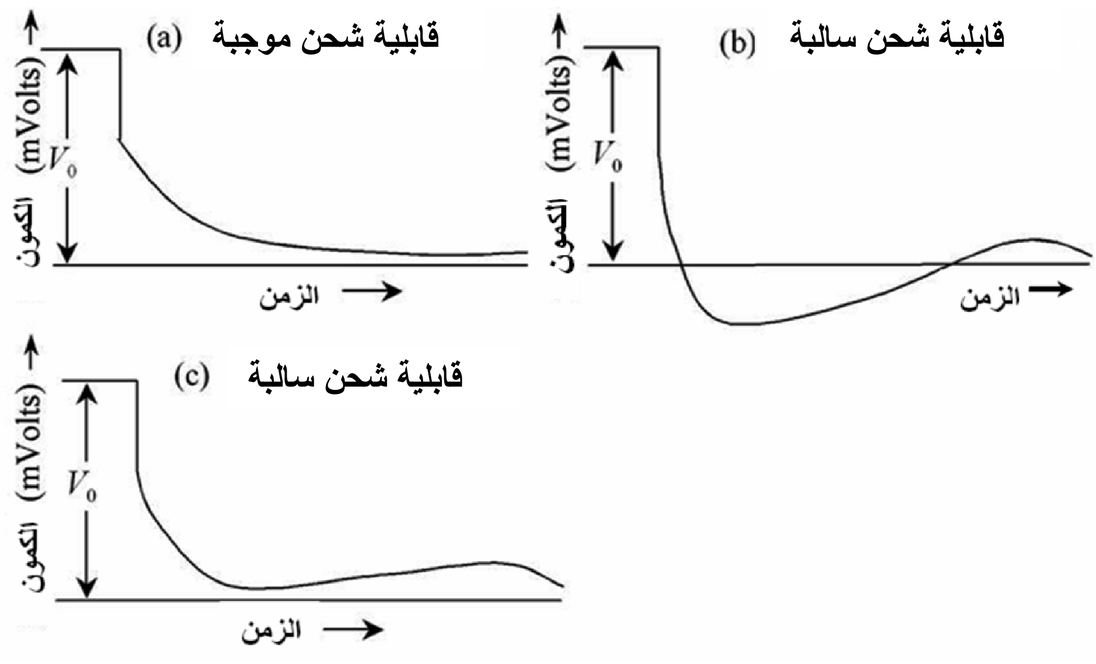
وضع العالم *(Brandes,I.M.(٢٠٠٥))* تفسيرا منطقيا و مقبولا لقيم قابلية الشحن السالبة للغضاريات ، بحيث اعتبر أن الاستقطاب التحريضي اللاخطي هو النوع الرئيسي من الاستقطاب اللاخطي الذي يسبب القيم السالبة لقابلية الشحن هو الاستقطاب الكهركيميائي (Electrokinetic) .

فإذا فرضنا أن عملية انتقال الكاتيونات الموجبة و جزيئات الماء تتم بفعل الانتقال الأسموزي هي العمليات الجارية فقط عند القيام بقياساتنا الجيوكهربائية ، و أهملنا تدرج HP و لزوجة الماء ، و طبقنا حقل خارجي كبير ، فإن هذا الحقل قوي بما فيه الكفاية ليجعل الأنيون (الشحنة السالبة) تتحرر من قوة الجذب الغشائي للغضار (membrane effect) ، ويجعل هذه الأنيونات تتجمع عند منطقة القطب السالب لكامل العينة ، و تتجمع بالتالي الكاتيونات و جزيئات الماء عند القطب الموجب للعينة ، و يتشكل نتيجة لذلك تراكيز للشحنات السالبة و الموجبة بحيث تعطي حقل معاكس للحقل الخارجي المطبق كما في الشكل ٢-١٢ و الشكل ٢-١٣ .

من أجل ألا نحصل على قيم سالبة لقابلية الشحن عند العمل الحقلي، يجب القيام بقياسات تجريبية لقابلية الشحن عند نفس النقطة بتطبيق عدة جهود كهربائية ، و اختيار الجهد الكهربائي الذي يوافق أكبر قيمة موجبة لعامل الشحن ، بحيث تكون هذه القيمة ناتجة عن استقطاب تحريضي خطي في الغضار. و يجب أيضا القيام بقياسات تجريبية لقابلية الشحن عند نفس النقطة بتطبيق عدة أزمنة لإرسال نبضة التيار، و اختيار زمن إرسال نبضة تيار يعطي أكبر قيمة موجبة لقابلية الشحن ، لأن قابلية الشحن للمواد التحت سطحية تختلف بحسب زمن إرسال نبضة التيار.



شكل ١٢-٢ عمليات الاستقطاب الخطية و اللاخطية في موديل عينة غضارية



الشكل ١٣-٢ : مخططات تبين:

a- قابلية الشحن الموجب الناتج عن الاستقطاب الخطي

b-c- قابلية الشحن السالب الناتج عن الاستقطاب اللاخطي

٥-٢-٢ العلاقة بين المقاومية الكهربائية الظاهرية و قابلية الشحن الظاهري:

بين العالم سيغيل ***(Seigel(١٩٥٩))*** أنه فوق وسط غير متجانس مؤلف من عدد من المواد n المختلفة ، فإن قابلية الشحن الظاهري ma ترتبط مع المقاومية الظاهرية بالعلاقة التالية :

$$ma = \sum_{i=1}^{n} mi \frac{d \log (\rho a)}{d \log (\rho i)} \qquad ٢-١٢$$

حيث ma و ρa هي قابلية الشحن الظاهري و المقاومية الظاهرية بينما mi و ρi هي قابلية الشحن و المقاومية الكهربائية للمادة رقم i .

بين ***(Seigel(١٩٥٩))*** أيضا أن العلاقة التالية تساوي الواحد :

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{d \log \rho a}{d \log \rho i} = 1 \qquad ٢-١٣$$

من العلاقتين ٢-١٢ و ٢-١٣ يمكن أن نستنتج العلاقة التالية:

$$\frac{ma}{ma\,1} = 1 + \sum_{i=1}^{n} \frac{d\,log\,(\rho a)}{d\,log\,(\rho 1)} (\frac{mi}{m1} - 1)$$ ٢-١٤

لذلك إذا كانت قيم المقاومية الظاهرية معلومة ، فإن قيم ma/m١ يمكن إيجادها بسهولة ، أو إذا كانت العلاقة الرياضية للمقاومية الظاهرية معلومة فإن علاقة ma/m١ يمكن إيجادها بسهولة أيضا ((Seigel(١٩٥٩.

٣-٢ الكمون الذاتي الطبيعي (SP) :

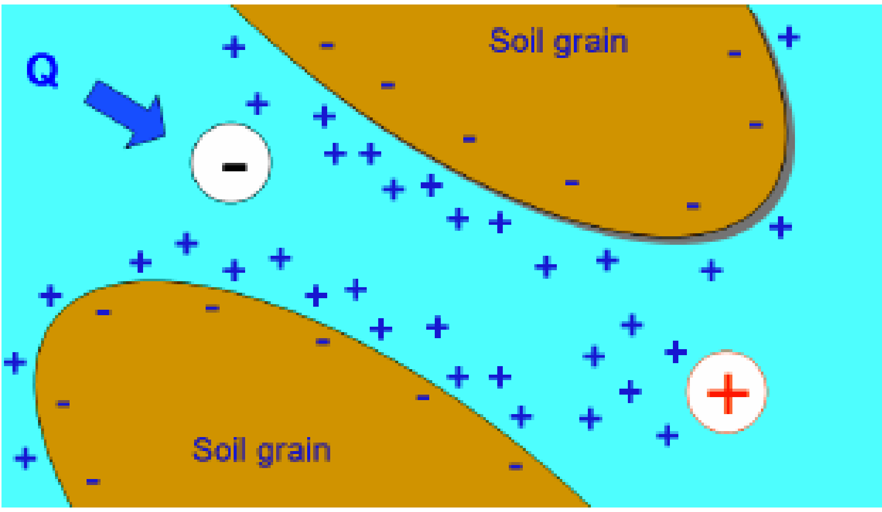
تعتمد طريقة الكمون الطبيعي (SP) على قياس الكمون الطبيعي المتولد في الأرض عن التفاعلات الكيميائية و حركة الأيونات المنحلة . و بشكل عام نجد فرق في الكمون بين نقطتين على سطح الأرض ناتج عن تيار كهربائي سار في الأرض .

يتألف فرق الكمون من جزأين : الأول ثابت و ذو اتجاه واحد، يمكن أن يرتفع نتيجة عمليات كهروكيميائية مختلفة في الأرض. و الثاني متغير مع الزمن أو متذبذب ، وهو نتيجة التيارات التللورية.

تم إتباع طريقة الكمون الذاتي الطبيعي بصورة متزايدة في السنين الأخيرة في البحوث البيئية و الجيوهندسية ، للمساعدة في دراسة حركة المياه الجوفية . تطبق طريقة الكمون الذاتي الطبيعي بشكل رئيس لتحديد حركة المياه الجوفية خلال نطاقات نفاذه تحت سطحية كأحواض تخزين المياه ، أو حركة المياه خلال المنشآت ، مثال ذلك السدود .

١-٣-٢ منشأ الكمون الطبيعي الرشحي :

ينشأ الكمون الرشحي عندما يتدفق الماء أو سوائل أخرى خلال الرمل أو الصخر المشقق أو اللحقيات. عندما يتحرك السائل فإن سطح الصخر و بخاصة الغضار يتميز بشحنة سالبة تجذب الشوارد الموجبة من السائل (الماء مثلا) و ترتبط بها ، و تتشكل بالتالي طبقة من الشحنة الكهربائية ضمن الفراغ المسامي كما في الشكل١٤-٢.



الشكل ٢-١٤ الطبقة الكهربائية المضاعفة المتشكلة في الفراغ المسامي

و عندما يزداد الضغط المطبق على السائل ، يجبره على الجريان ضمن الفراغ المسامي في الصخر ، و تجري الشحنات الموجبة مع هذا السائل لتشكل تياراً كهربائياً ناتجاً عن انتقال هذه الشحنات (I conv). يسبب هذا التيار نقص الشحنات المنتقلة من مكانها الأصلي(مدخل القناة الشعرية) و تزايدها عند نهاية مجرى التدفق (مخرج القناة الشعرية) و بالتالي يتولد فرق كمون إلكتروليتي ، تذهب الشحنات الموجبة إلى نهاية المجرى (الضغط المنخفض) و تبقى الشحنات السالبة في بداية المجرى المسامي بسبب الضغط المرتفع ، و يشكل التباعد لهذه الشحنات تيارا ناقلا (I cond). و في وسط صخري ذو بنية غير ناقلة فإن هذان التياران (I conv) (I cond) يتواجدان بالتوازن مع بعضهما البعض، و وفقا لمعادلة بواسون ، و تدفق بيسيولي Poiseuilly ذات السرعة المتكافئة و طبقة الانتشار لغوي تشابمان Gouy-Chapman فإن التياران (I conv) , (I cond) يمكن حسابهما على النحو التالي **(*Mainali,G.(٢٠٠٧)*)**:

$$I_{conv} = -\pi\varepsilon\frac{\zeta}{\eta}G\Delta P \qquad ٢-١٥$$

$$I_{cond} = \pi\sigma_w G\Delta V \qquad ٣-١٦$$

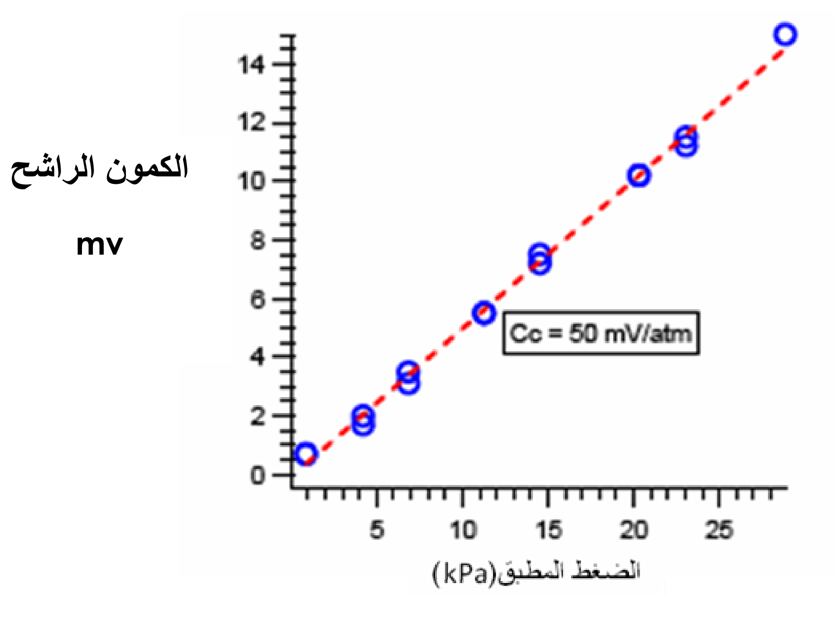
حيثΔV تدرج الكمون الراشح و ΔP فرق الضغط التي يسبب الرشح، σw ناقلية الماء، έ ثابت العزل الكهربائي للسائل ، ζ هو كمون زيتا (الكمون عند أقرب نقطة لسطح الجسم الصلب حيث تحدث حركة الشحنات)، η لزوجة السائل ، G العامل الجيومتري .

من المعادلتين٢-١٥ و ٢-١٦ نحصل على المعادلتين التاليتين ***(Mainali,G.(٢٠٠٧))***:

$$\Delta V = -\frac{\varepsilon\zeta}{\eta\sigma_w}\Delta P \qquad ٢-١٧$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = -\frac{\varepsilon\zeta}{\eta\sigma_w} \qquad ٢-١٨$$

و هذه هي معادلات هيلمهولتز – سموليوشاوسكي (Helmholtz-Smoluchowski)، و النسبة $\Delta V/\Delta P$ هي عامل الكمون الراشح أو المتدفق Cc، و يعتمد هذا العامل على ناقلية الماء و ثابت العزل الكهربائي للسائل و كمون زيتا و لزوجة السائل . يتم تقدير القيمة Cc لأي منطقة بواسطة رسم منحني تغير الكمون الطبيعي مقابل الضغط كما بالشكل ٢-١٥ ***(Jeffrey R. Moore ٢٠٠٩)***.



الشكل ٢-١٥ منحني تغير الكمون الراشح الذاتي بدلالة الضغط المطبق

لكن عمليا الوسط الصخري المحيط بالمسامات ليس عازلا بالكامل و لذلك فإن قيمة عامل الكمون الرشحي المقاس في الحقل (و يسمى عامل الكمون الرشحي الظاهري) سيكون أقل من قيمته المقدرة في المخبر . فإذا اعتبرنا أن σs ناقلية الجسم الصلب ، تصبح المعادلة ١٧-٢ ((Mainali,G.(٢٠٠٧)):

$$\Delta V = -\frac{\varepsilon\zeta}{\eta\left(\sigma_w + 2\frac{\sigma_s}{r}\right)}\Delta P$$

٢-١٩

حيث r هي قطر المسام أو الشق.

تعتمد قيمة الكمون الرشحي على مقاومة الوسط للتيار، و إذا كان الجسم الصلب غير عازل فجزء من التيار الناقل Icond سوف يعبر من خلاله مقللة الكمون الرشحي ، ولذلك يلعب توزع المقاومية التحت سطحية دوراً كبيراً في شكل شواذ الكمون الطبيعي وقيمته أي أن تغير الكمون لا يتعلق بالتغيرات الفصلية بل بتغيرات المقاومية .

أينما وجدت مياه جوفية متدفقة ، فهناك شواذ كمون ذاتي ناتج عن الكمون الرشحي ، و بما أن المياه الجوفية متواجدة في كل مكان تقريبا . و في حالة كونها جارية في باطن الأرض فإن الشحنة المتولدة على الأرض هي سالبة وتولد كمونا رشحيا سالبا في مناطق بدء الرشح ، و تنشأ شحنة موجبة أي كمون طبيعي موجب في نهاية المجرى الرشحي . و في العادة يوجد هناك علاقة بين الكمون الطبيعي و الطبوغرافيا ، حيث النقاط ذات القمم العالية ذات شحنة سالبة للكمون الطبيعي .

إن الكمون الرشحي المتولد عن حركة المياه الجوفية هو مصدر القسم الكبير من شواذ الكمون الطبيعي في الدراسات الجيوهندسية ، و بما أن الكمون الرشحي يزود بمعلومات بشكل مباشر عن تدفق المياه الجوفية في القنوات المسامية و الشقوق ، فطريقة الكمون الطبيعي تستخدم في الدراسات الجيوتكنيكية و الهندسية لدراسة المستويات الناقلة للماء .(Mainali,G.(٢٠٠٧))

بينت الدراسات حول المصادر الحرارية أنه يمكن ملاحظة شواذ كمون ذاتي فوق هذه المصادر، و بشكل عام نلاحظ وجود شواذ موجب أو سالب فوق المصادر الحرارية . أما سبب نشوء هذا النوع من الكمون هو أن هذه المصادر الحرارية تزيد من قابلية النقل الحراري للمياه الجوفية ، كما يعمل هذا المصدر الحراري على اختلاف نسبة توزيع

الشحنات السالبة و الموجبة في السائل و الإلكترونات و الأيونات في الصخر. و تحسب قيمة الكمون الحراري هذا كنسبة الكمون المقاس المتغير إلى تغير درجة الحرارة . و تسمى هذه النسبة العامل الكهربائي الحراري المزدوج ، و تتراوح قيمته بين – ٠,٠٩،١,٣٦ mV/C° حسب نوع الصخر **(Mainali,G.(٢٠٠٧))**.

٢-٣-٢ تأثير تغير و توزع المقاومية الكهربائية على الكمون الذاتي الطبيعي :

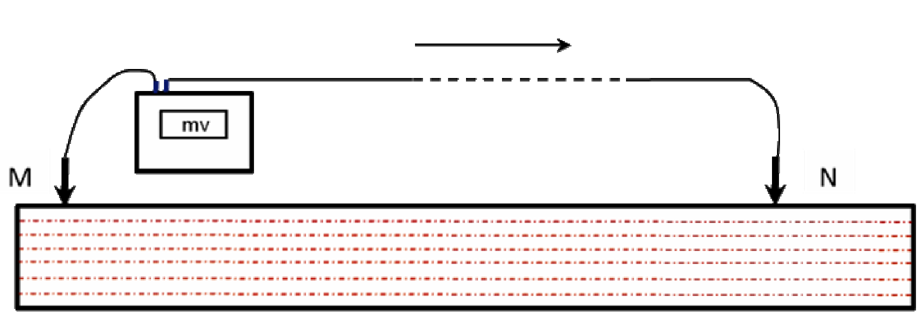
نلاحظ من العلاقة ٢-١٩ أن قيمة فرق الكمون تتناسب عكسا مع الناقلية الكهربائية و طردا مع المقاومية الكهربائية لذلك فإن تغير قيم المقاومية الكهربائية يؤدي إلى تغير قيم الكمون الذاتي الطبيعي، و أيضا يلعب الشكل الهندسي لمصدر شواذ المقاومية الكهربائية دورا مهما في تحديد شكل شواذ الكمون الطبيعي . و يكون شواذ الكمون المقيس عبارة عن هبوط في الكمون ناتج عن تدفق التيار في الأرض، و شواذ الكمون المقيس ذو طول موجة يتراوح بين بضعة من الأمتار إلى عشرات من الأمتار و سعة بين بضعة ميللي فولط لعشرات الميللي فولط **(Mainali,G.(٢٠٠٧))**.

٢-٣-٣ طرق قياس الكمون الذاتي الطبيعي

توجد طريقتين لقياس الكمون الذاتي الطبيعي حقليا : مسح الكمون الذاتي الطبيعي و مسح تدرج الكمون

٢-٣-٣-a مسح الكمون الذاتي الطبيعي :

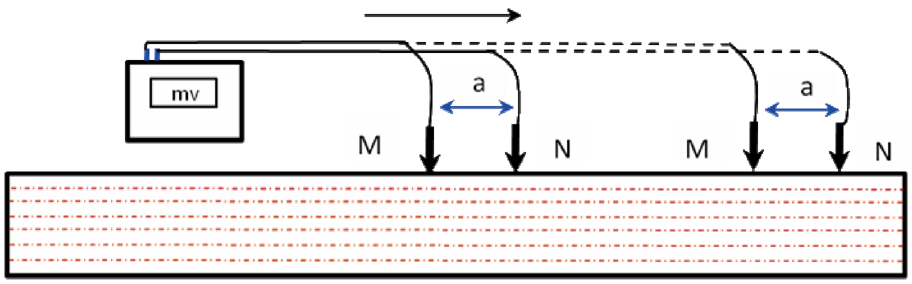
تعد طريقة مسح الكمون مثمرة أكثر. وهي تستخدم في الأجسام شبه الدائرية. حيث تنفذ على شبكة من القياسات . وتكون تغيرات الكمون ضعيفة مع الزمن . تتم طريقة العمل باستخدام مسريي كمون M,N. نثبت المسرى M في نقطة المرجع ونحرك المسرى الثاني N على طول خط القياس كما في الشكل ٢-١٦ وبعد الوصول إلى نهاية الخط نعود ثانية إلى نقطة المرجع ونعيد القياس بهدف تسجيل تغير الكمون مع الزمن في نقطة المرجع لأخذ هذه التغيرات بعين الاعتبار في تصحيح القياسات مع الزمن.



الشكل ٢-١٦ مخطط تمثيلي لطريقة مسح الكمون

b-٢-٣-٣ مسح تدرج الكمون:

تستخدم طريقة مسح التدرج عند وجود تشويش شديد من التيارات الشاردة أو متغيرة مع زمن الحقل ، أي في الحقل غير المستقر ، كذلك الأعمال على مسار الطرقات و المسوحات التفصيلية . في هذه الطريقة نحرك كلا المسريين M,N معا" مع المحافظة على ترتيبهما و المسافة بينهما (الشكل١٧-٢) .

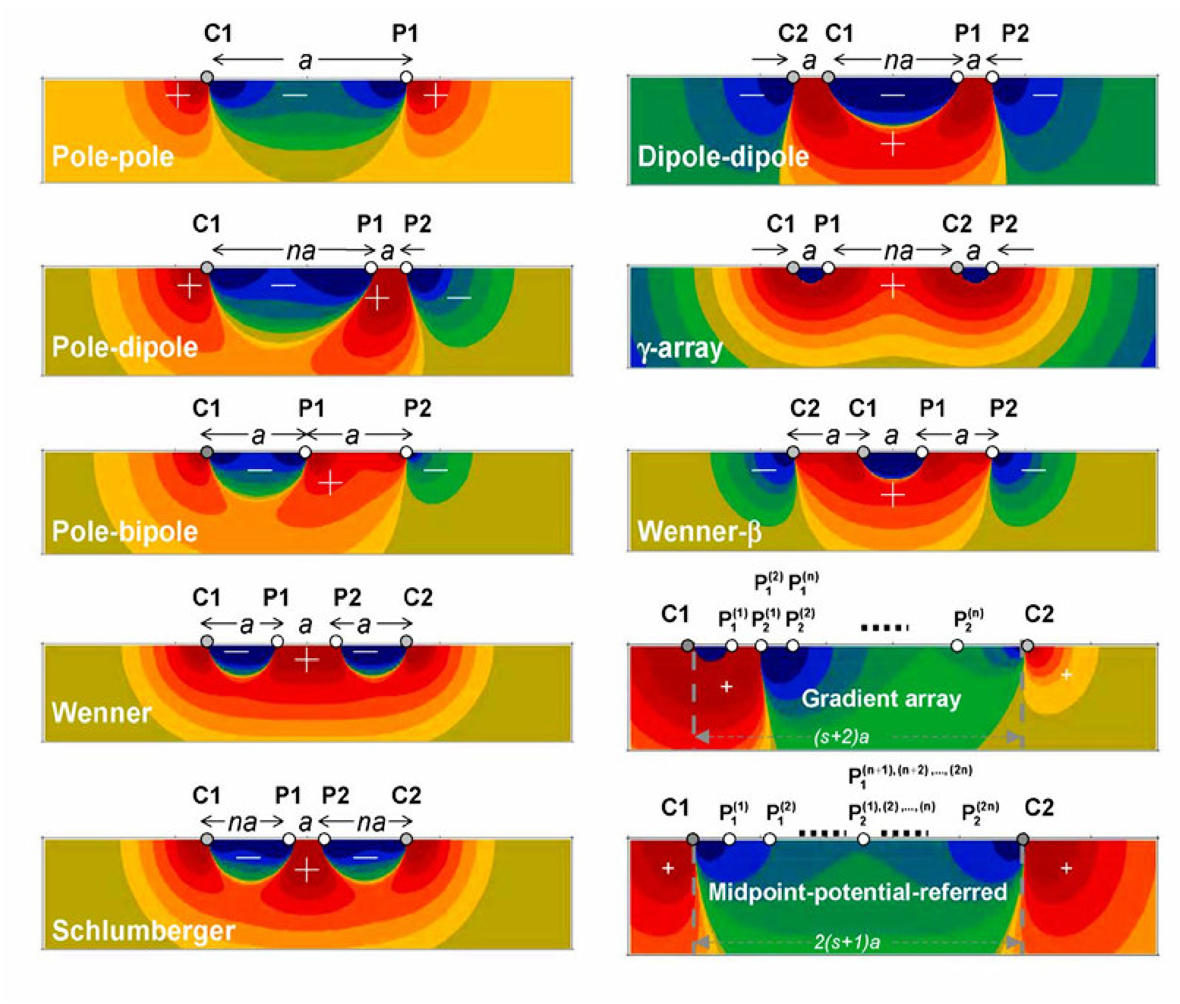


الشكل ٢-١٧ مخطط تمثيلي لطريقة تدرج الكمون

الفصل الثالث

منهجية اختيار تشكيلة السبر الشاقولي المناسبة باستخدام النمذجة الرياضية

تختلف المقاومية المقاسة باختلاف التشكيلة المستخدمة في نفس نقطة القياس وذلك لاختلاف العوامل الجيومترية لكل تشكيلة و اختلاف توزع خطوط الكمون و التيار و تأثرها المختلف بشكل الشاذ المدروس و بأبعاده الهندسية و التشويشات بأنواعها المختلفة الشكل ١-٣. لذلك يجب أن تكون التشكيلة المختارة ذات نمط حساسية (نمط توزع خطوط الكمون و التيار) متأثر بشكل جيد بالمشكلة المطروحة و الشاذ المدروس و قليلة التأثر بالتشويشات الطبيعية و الصنعية إن وجدت (**(Zhou, B. and Dahlin, T (٢٠٠٣)**).



الشكل ١-٣ أشكال تبين أنواع التشكيلات الكهربائية المختلفة ، و أنماط الحساسية المختلفة لكل منها.

تهدف الدراسة التالية إلى إختيار تشكيلة مناسبة للمشكلة المدروسة قبل البدء بالعمل الحقلي لتوفير الجهد و التكلفة ، و من أجل ذلك استخدمنا برنامجين حاسوبيين:

- برنامج النمذجة للقياسات الكهربائية (**Res ٢D modular**) يعتمد هذا البرنامج على معالجة موديل مقترح للسد والشاذ المفترض (المقاوميات الحقيقية) ، و تحويل المقاومية الحقيقية للموديل إلى مقاوميات ظاهرية حسب نمط حساسية كل تشكيلة. و تتغير هذه المقاومية الظاهرية للسد في البرنامج بحسب نوع التشكيل المطلوب، كما أن البرنامج يشمل المقاومية و قابلية الشحن في المعالجة.

- البرنامج الآخر يسمى برنامج تفسير القياسات الجيوكهربائية (**Res ٢D inversion**) و الذي يقوم بتفسير المعطيات الجيوكهربائية الحقلية من مقاومية كهربائية ظاهرية و قابلية شحن ظاهري و غيرها من بارمترات الاستقطاب التحريضي.

١-٣ نمط تأثر التشكيلات الجيوكهربائية بالشكل الهندسي للشاذ المفروض:

تم بناء موديل جيوكهربائي حاسوبي ثنائي البعد ذو أبعاد جيومترية تطابق تقريبا أبعاد سد حبران ، فطول البروفيل الكلي ١٧٠m و عدد المساري المستخدمة في البرنامج ٥٧ مسرى بينما في الواقع على السد هي ٥٦ مسرى تحصر فيما بينها ٥٤ نقطة سبر .

بفرض أن السد نظريا مكون من عدد من الطبقات الغضارية ذات درجة تراص واحدة ، وضعنا موديل لجسم السد ممثل بالشكل٢-٣ مكون من طبقات غضارية متجانسة ذات مقاومية و قابلية شحن واحدة .

و نلاحظ على الشكل٢-٣ مقطع علوي يعبر عن موديل المقاومية الكهربائية الحقيقية المفروض لجسم السد ، و نلاحظ في منتصف هذا المقطع الجيوكهربائي مجموعة من الطبقات الأفقية المتجانسة المنخفضة المقاومية الكهربائية الحقيقية (٣٠Ωm) و هي تعبر عن المقاوميات الكهربائية الحقيقية للطبقات الغضارية المكونة لجسم السد .

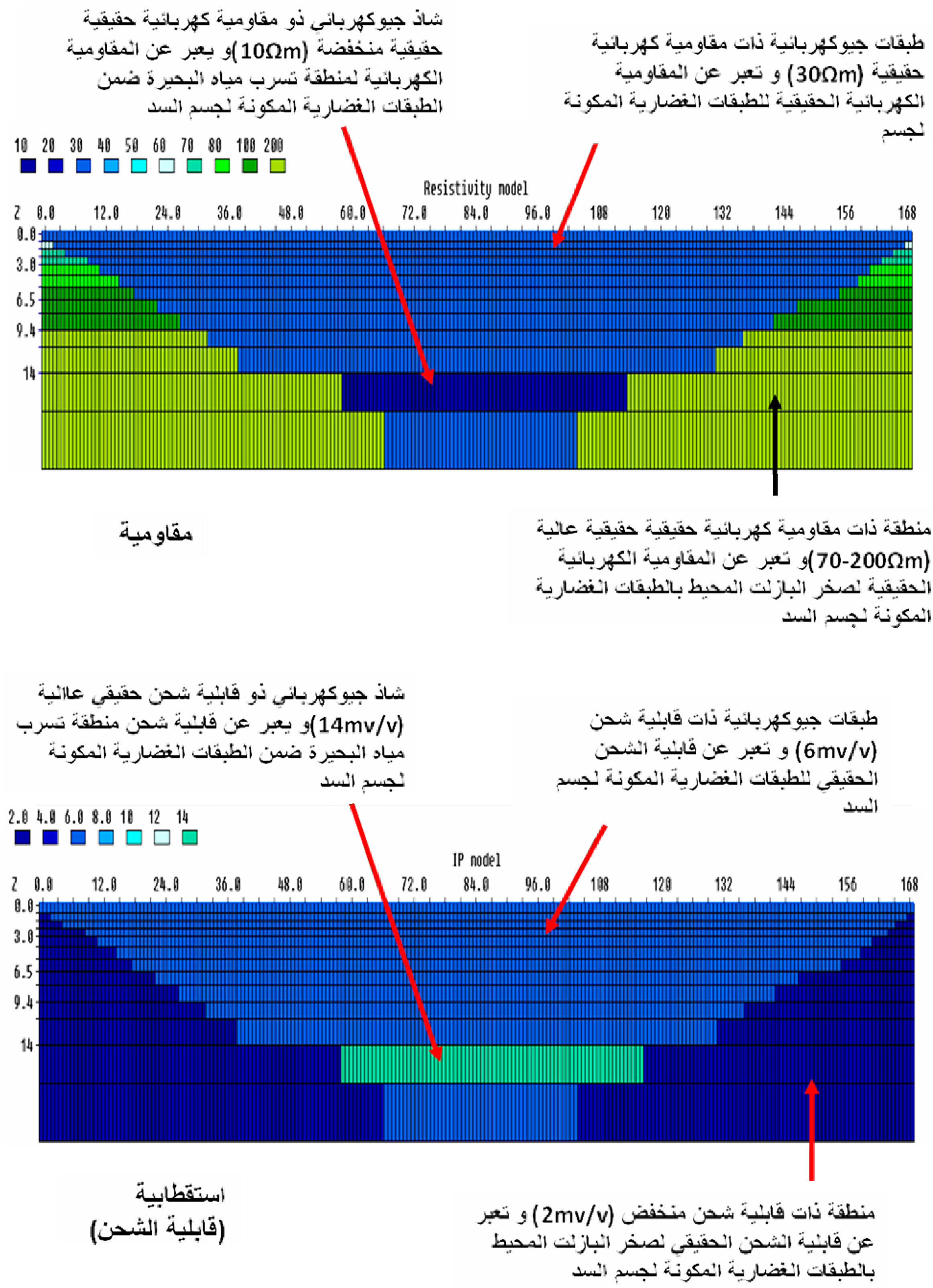
و باعتبار أن جسم السد مكون من طبقات غضارية أفقية لذلك فإن أي شاذ منخفض المقاومية أو مرتفع قابلية الشحن يجب أن يكون مسايرا لشكل هذه الطبقات الأفقية ***(Johansson,s.Friborg,J. Dahlin,T.and Sjödahl,P(٢٠٠٣))*** ، لذلك فرضنا وجود شاذ جيوكهربائي ذو مقاومية كهربائية حقيقية أخفض من المقاومية الكهربائية الحقيقية للطبقات

الغضارية (١٠Ωm) و هو يعبر عن نطاق ضعف في الطبقات الغضارية تتغلغل ضمنها مياه بحيرة السد ، و يحيط بالطبقات الجيوكهربائية المقابلة للطبقات الغضارية و الشاذ المفروض منطقة ذات مقاومية كهربائية حقيقية عالية(٧٠-٢٠٠Ωm) ، و تعبر عن المقاومية الحقيقية للصخور البازلتية المحيطة بجسم السد .

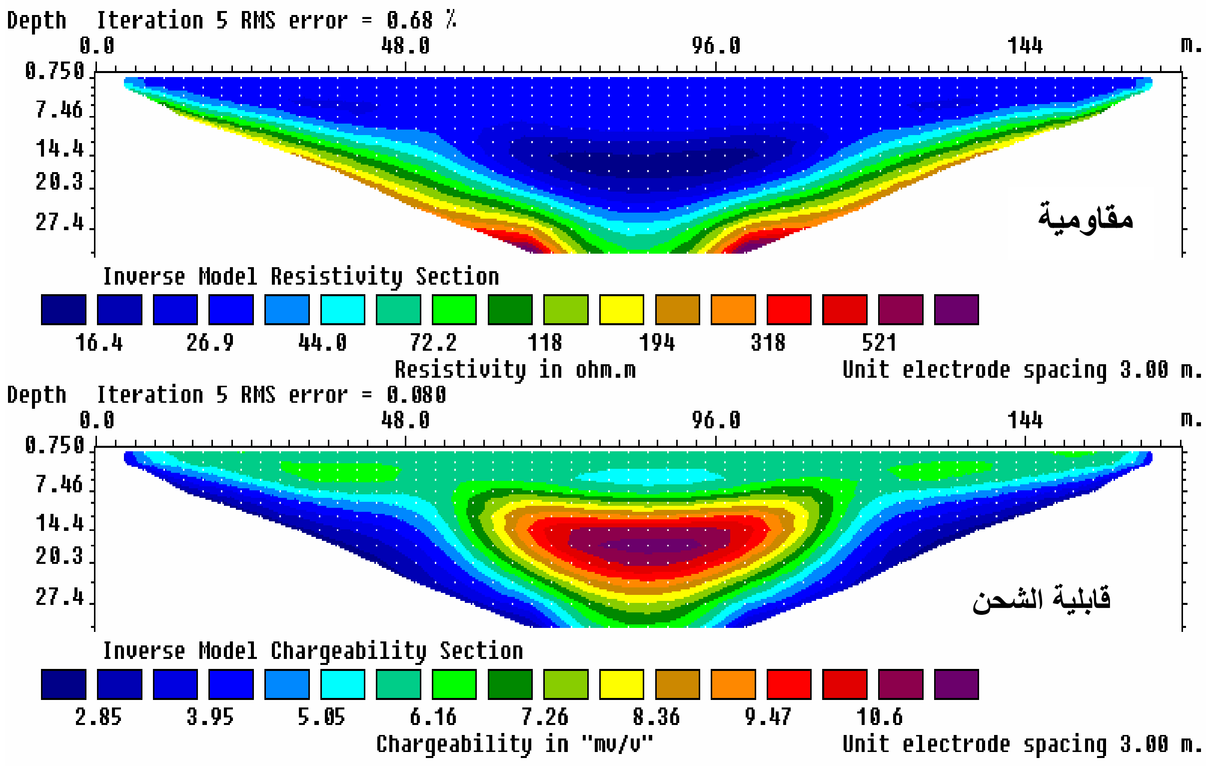
و نلاحظ على الشكل مقطع سفلي يعبر عن موديل قابلية الشحن الحقيقي المفروض لجسم السد ، و في منتصف المقطع الجيوكهربائي مجموعة من الطبقات الأفقية ذات قابلية شحن حقيقي (٦mv/v) و هي تعبر عن قابلية الشحن الحقيقي للطبقات الغضارية المكونة لجسم السد ، و فرضنا وجود شاذ جيوكهربائي ذو قابلية شحن حقيقي أعلى من قابلية الشحن الحقيقي للطبقات الغضارية (١٤mv/v) و هو يعبر عن نطاق ضعف في الطبقات الغضارية تتغلغل ضمنها مياه بحيرة السد ، و يحيط بالطبقات الجيوكهربائية المقابلة للطبقات الغضارية و الشاذ المفروض منطقة ذات قابلية شحن (٢mv/v) ، و تعبر عن قابلية الشحن الحقيقي للصخور البازلتية المحيطة بجسم السد ، وقيم قابلية الشحن هذه ليست بالضرورة مطابقة للواقع ، وذلك للتأثر الشديد لقابلية الشحن بالظروف الخارجية من رطوبة و ما إلى هنالك ، و لكن لا تؤثر هذه القيم على نتيجة الدراسة ، بما أننا ندرس تأثر جميع التشكيلات بالشكل الهندسي للشاذ و ليس بقيمة قابلية شحنها .

و بالتالي نقوم بتلقين برنامج النمذجة (**Res٢D moduler**) موديل المقاومية الكهربائية الحقيقي و موديل قابلية الشحن الحقيقي المفروض ، فيعطينا مقطع مقاومية كهربائية و قابلية شحن ظاهري يختلف باختلاف التشكيل الملقن للبرنامج .

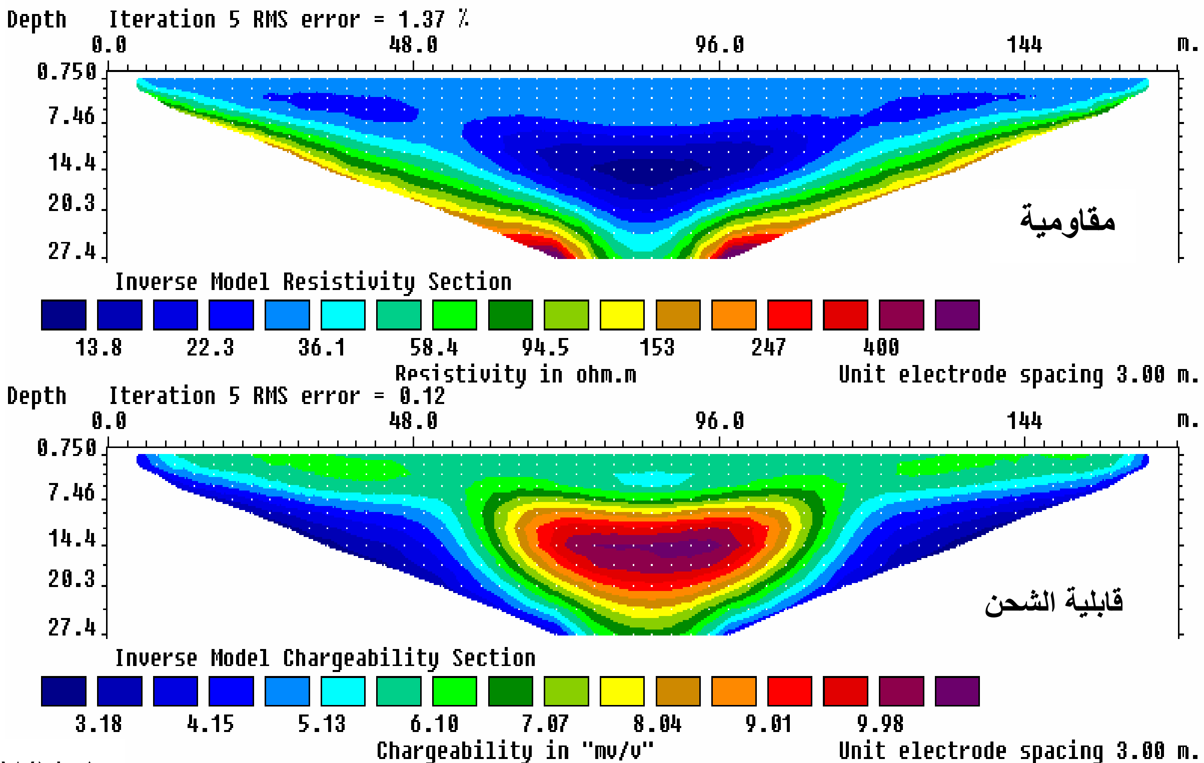
نقوم بتفسير المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن الظاهرية الناتجة عن الموديل الحقيقي المفروض للمقاومية الكهربائية الحقيقية و قابلية الشحن الحقيقي ، و الناتج عن كل تشكيلة من التشكيلات فنحصل على مقاطع المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن المفسرة لكل تشكيلة (الأشكال٣-٣, ٣-٤, ٣-٥ و٣-٦) ، و ذلك بواسطة برنامج تفسير المعطيات الجيوكهربائية (**Res ٢D invesion**). تعطينا هذه المقطع مقدار مطابقة الموديل المفسر لكل تشكيلة مع الموديل الفروض.



الشكل٢-٣ الموديل الرياضي للمقاومية الكهربائية و قابلية الشحن الحقيقية للنواة الغضارية.

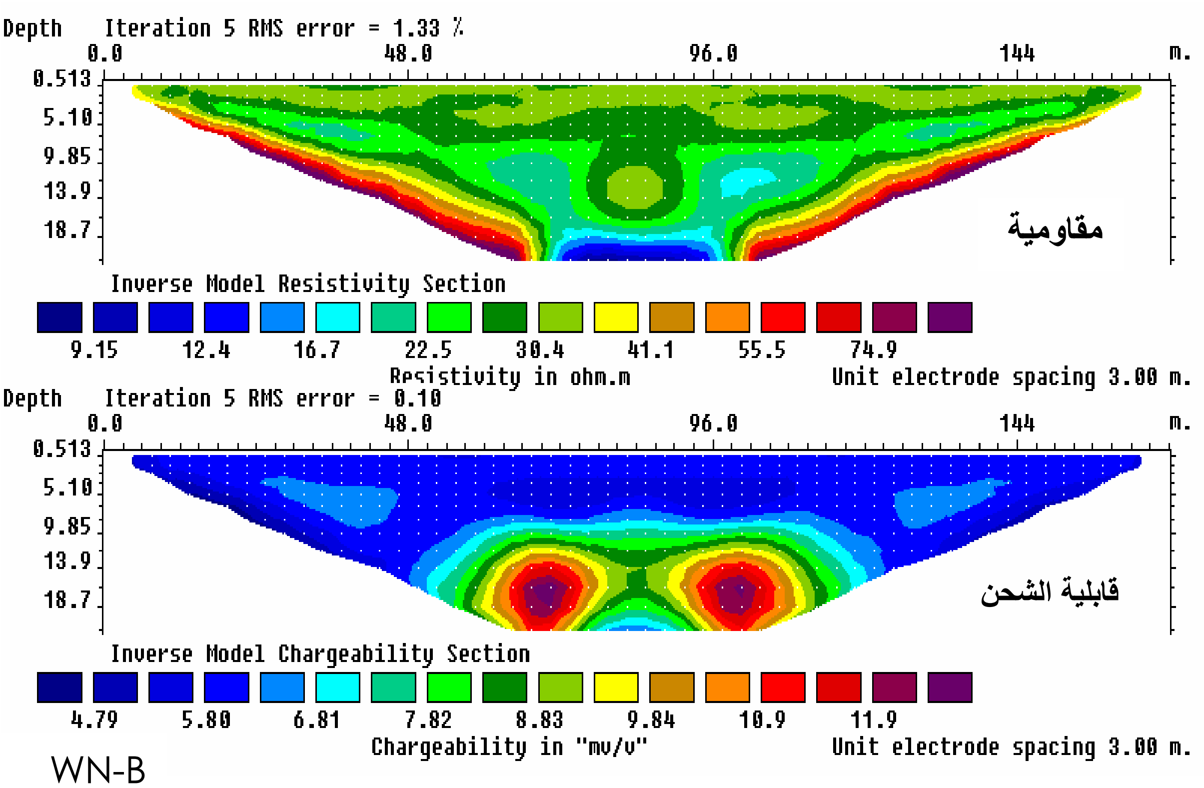


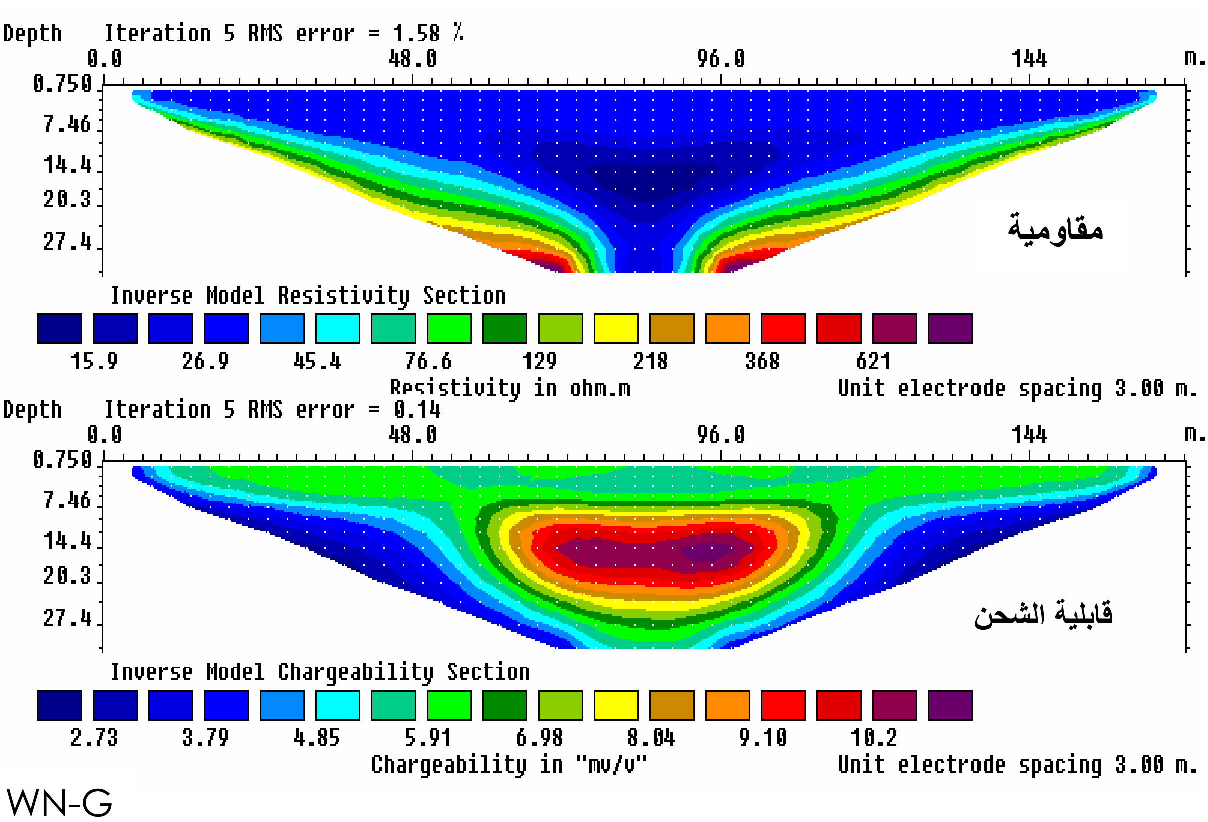
WN-SH



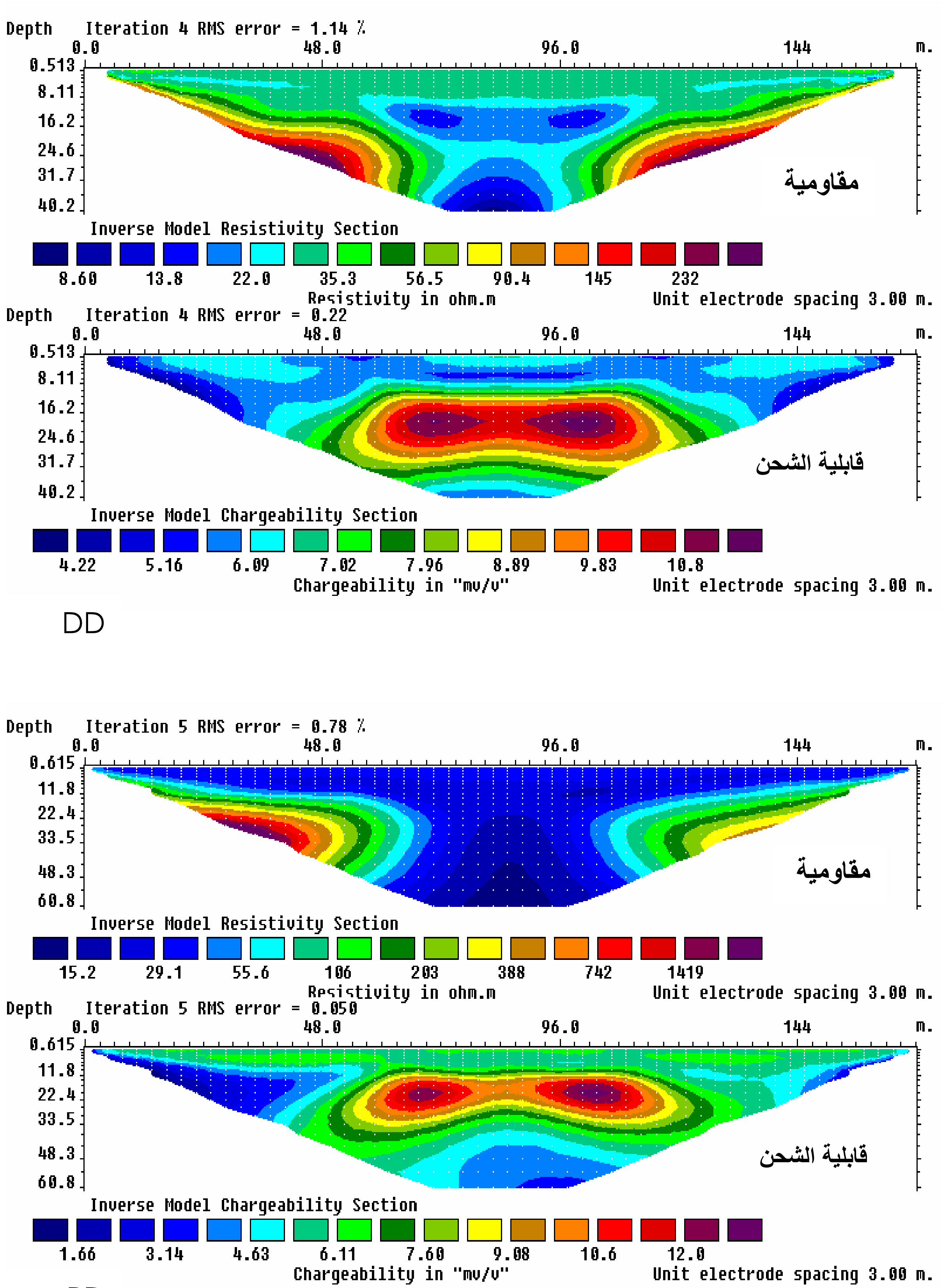
WN-A

الشكل٣-٣ مقاطع المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن المفسر بحسب التشكيلات
WN-A,WN-SH

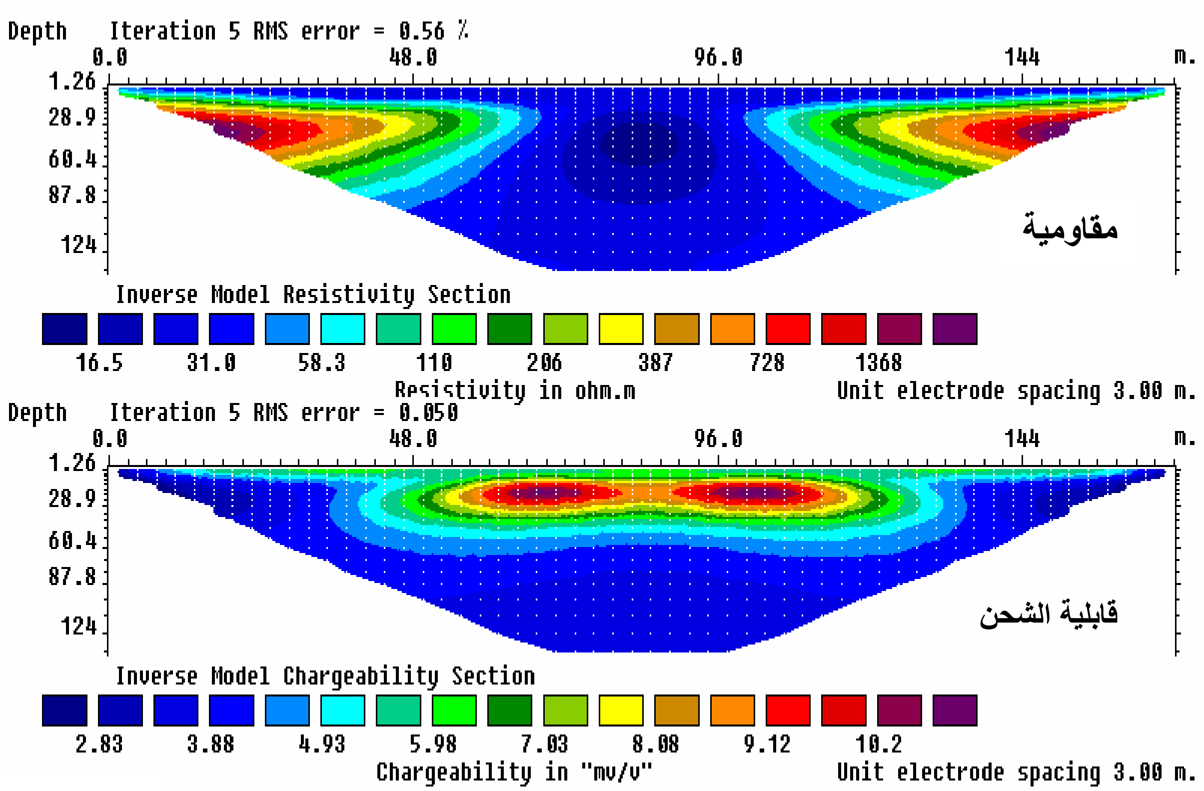




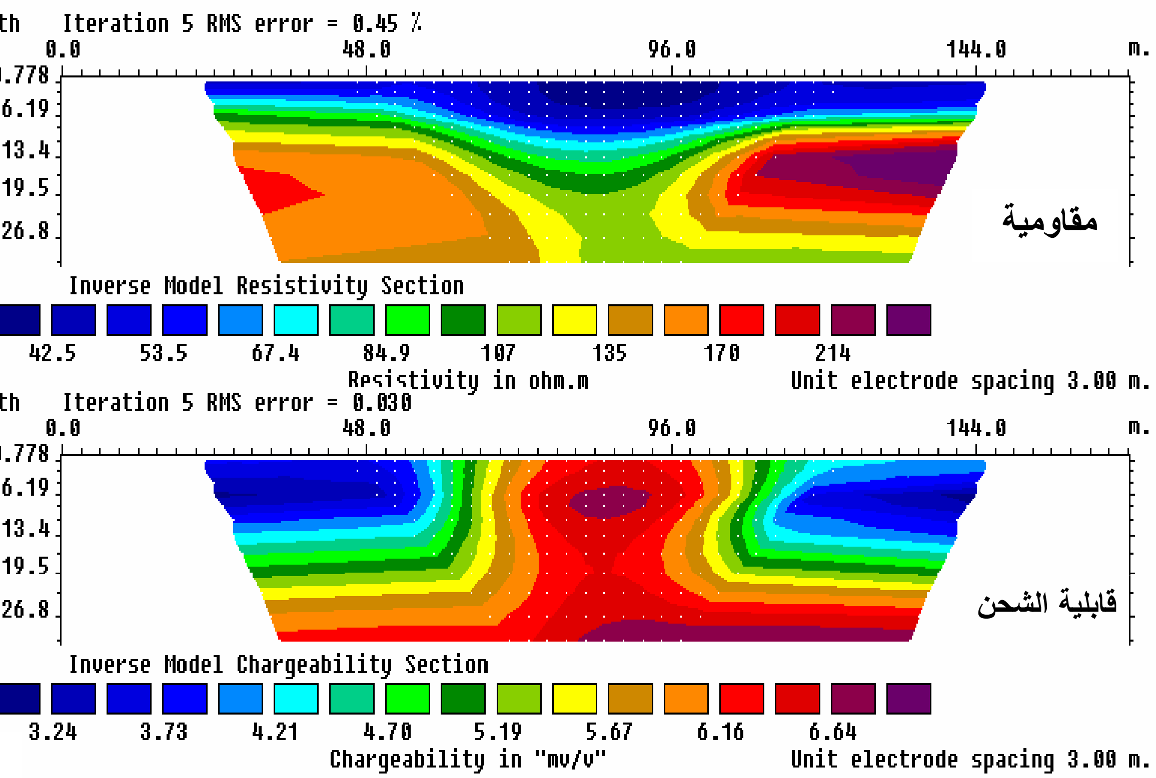
الشكل ٤-٣ مقاطع المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن المفسر بحسب التشكيلات WN-G,WN-B



الشكل٥-٣ مقاطع المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن المفسر بحسب التشكيلات PD,DD



PP

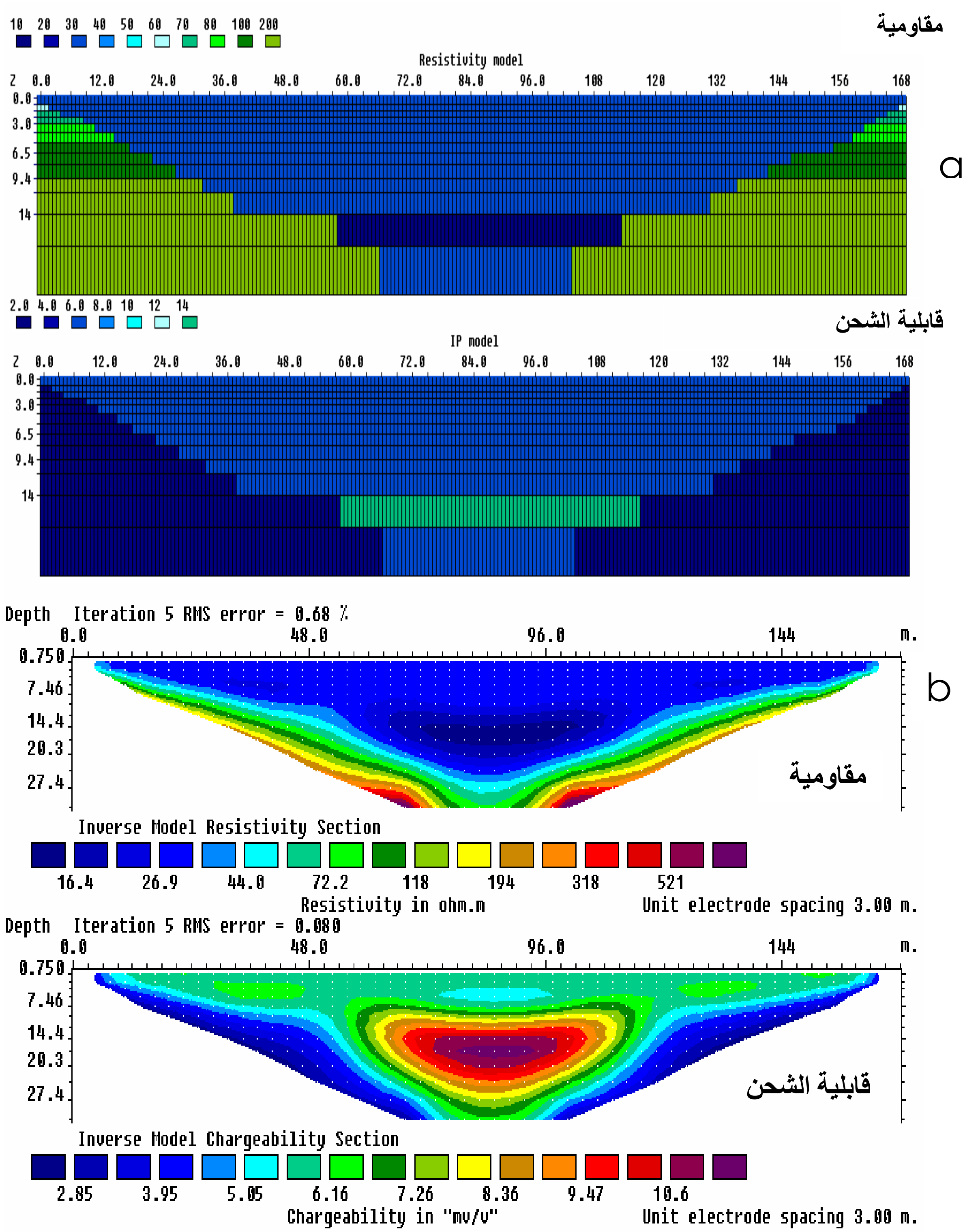


GR

الشكل٦-٣ مقاطع المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن المفسر بحسب التشكيلاتGR,PP

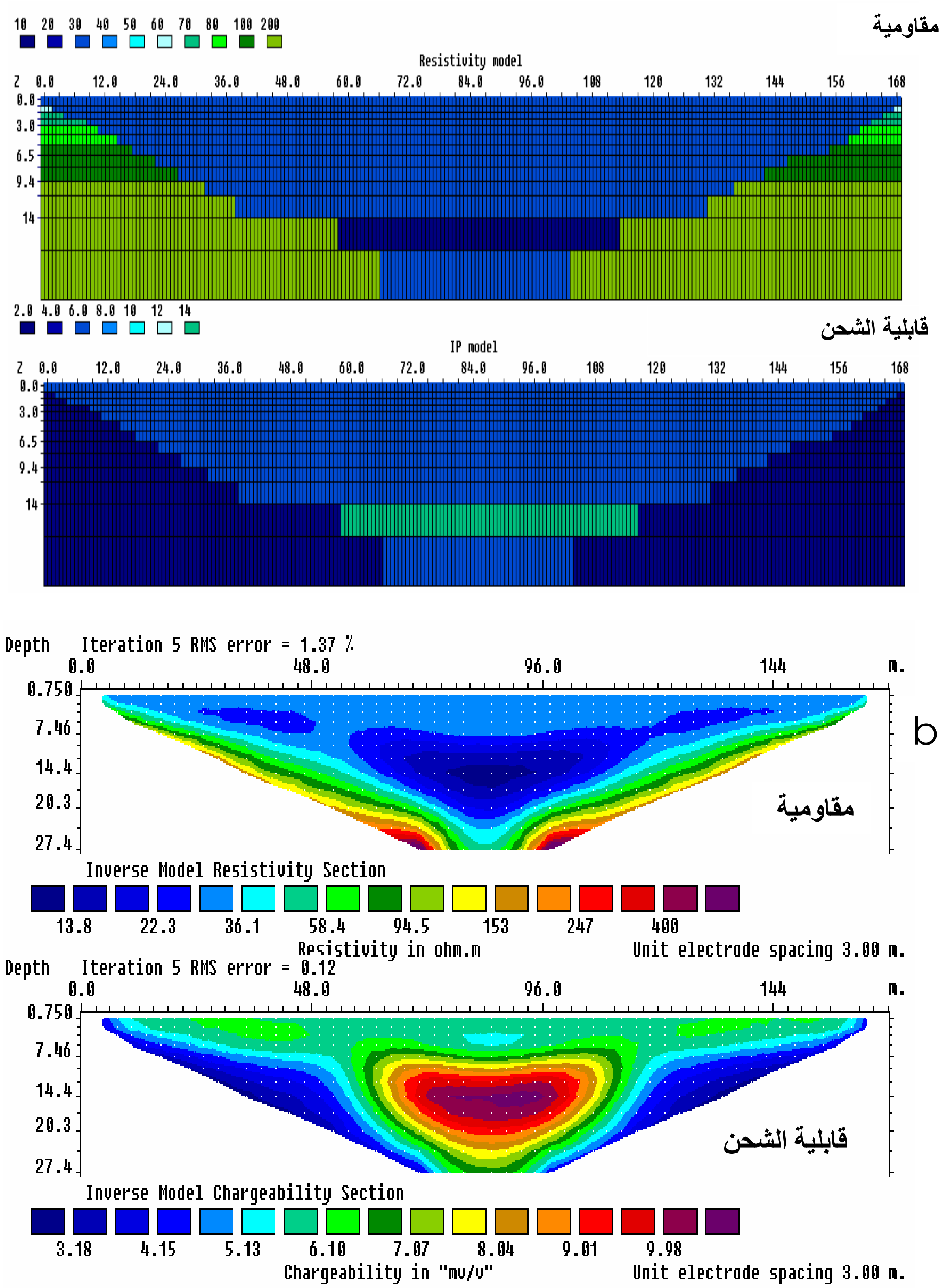
نلاحظ من الأشكال السابقة أن تشكيلة وينر شلمبرجير تعطينا مقطع مقاومية كهربائية و قابلية شحن مفسر أقرب ما يكون لموديل المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن الحقيقي المفروض، وذلك يبدو واضحا إذا ما قارنا بينهما كما في الشكل٧-٣.

و نلاحظ أيضا أن تشكيلة وينر ألفا تعطينا مقطع مقاومية كهربائية و قابلية شحن مفسر قريب لموديل المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن الحقيقي المفروض، و لكن ليس بقدر تشكيلة وينر شلمبرجير، الشكل٨-٣.



الشكل ٧-٣ : **a**-الموديلات الرياضية للمقاومية و قابلية الشحن الحقيقية المفروضة للنواة العضارية.

b-موديلات المقاومية و قابلية الشحن المفسرة و الناتجة عن تفسير المقاومية و قابلية الشحن الظاهرية الناتجة عن تشكيلة وينر شلمبرجير



الشكل ٨-٣ :a– الموديلات الرياضية للمقاومية و قابلية الشحن الحقيقية المفروضة للنواة الغضارية

b-موديلات المقاومية و قابلية الشحن المفسرة و الناتجة عن تفسير المقاومية و قابلية الشحن الظاهرية الناتجة عن تشكيلة وينر ألفا

و لكن اعتماد تشكيلة وينر شلمبرجير أو ألفا على أساس مقارنة مقاطع مفسرة للمقاومية الكهربائية و قابلية الشحن ، مع موديلات مفروضة للمقاومية الكهربائية الحقيقية و قابلية الشحن الحقيقي فقط ، غير كافي ، ذلك لأنه عند دراسة السد بأي تشكيلة كانت فإن التشويش الطبيعي و الصنعي إن وجد سوف يؤثر على الإشارة المسجلة وبالتالي على نتائج القياس . و لكن هذا التأثير يختلف من تشكيلة لأخرى ، لذلك سوف ندرس مقدار تأثر كل تشكيلة بأنواع التشويش المختلف.

٣-٢ نمط تأثر التشكيلات الجيوكهربائية بأخطاء قياس الكمون :

تصنف أخطاء القياس بشكل عام إلى نوعين :

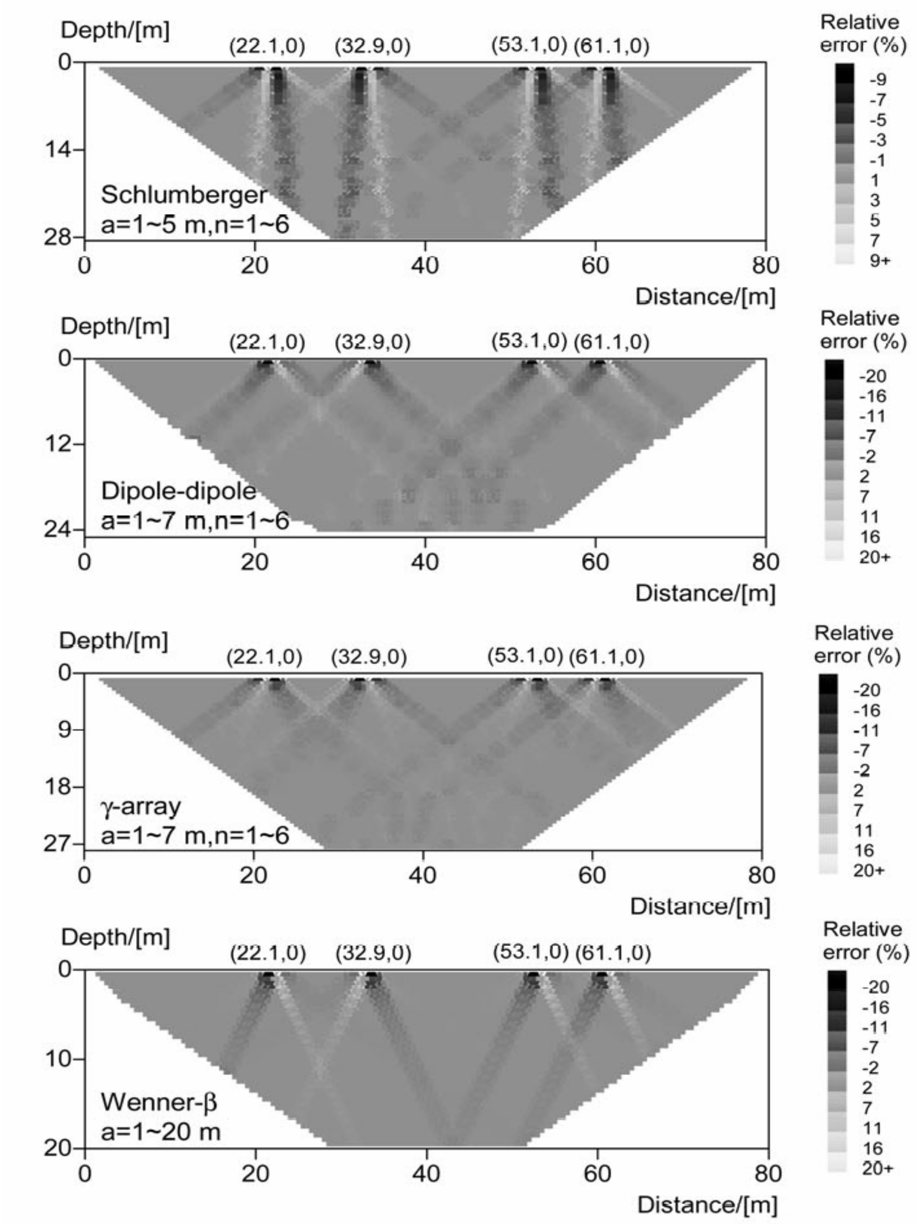
٣-٢-١ أخطاء قياس الكمون المتعلقة بتباعدات المساري:

تحدث الأخطاء في قياس الكمون نتيجة الأخطاء غير المقصودة في توزيع مساري التشكيلة و الخطأ في موقع المساري ، و هذا الخطأ قد يكون على طول خط تشكيلة المساري و يسمى (الخطأ البعدي الداخلي) ، أو خارج خط التشكيلة و يسمى (الخطأ البعدي الخارجي). و يمكن أن نقلل من الخطأ البعدي بالعمل بحذر من قبل فرقة العمل الحقلي .

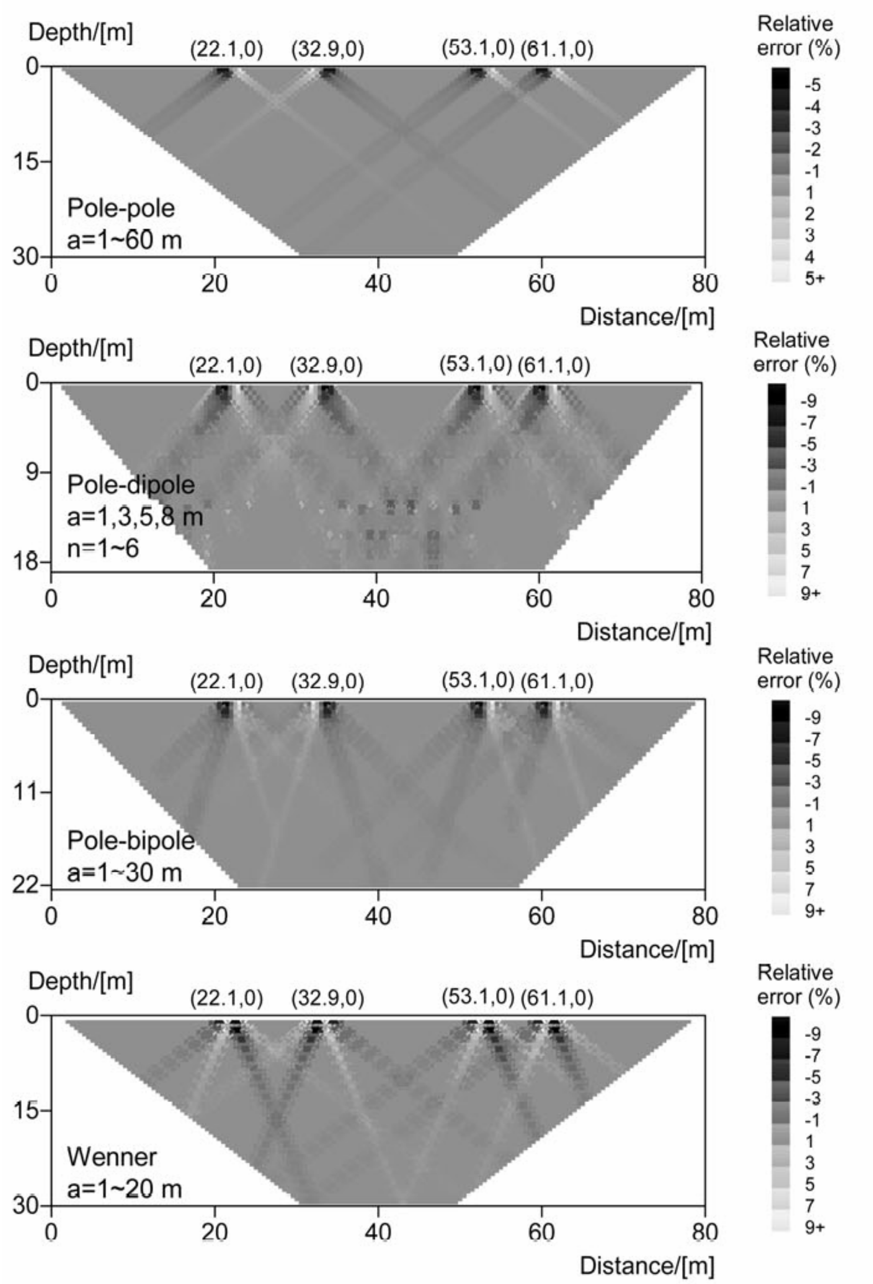
بالنسبة للأخطاء البعدية (الأخطاء المتعلقة بتباعدات المساري)، فقد تبين نتيجة لدراسات سابقة *(Bing Zhou and Torleif Dahlin.(٢٠٠٣))* مطبقة على موديلات رقمية تحوي على أربعة مساري ذات خطأ بعدي داخلي ١٠٪ من بعده الصحيح عن المسرى المجاور له (لم تشمل هذه الدراسة **قابلية الشحن**) .

إن تشكيلة وينر أ لفا و وينر بيتا و ديبول- ديبول تعطي خطأ نسبي للكمون المقاس أكبر من ٢٠±% . و تملك التشكيلات الأخرى قيمة للخطأ النسبي مساوي لقيمة الخطأ البعدي نفسه (١٠٪). و هذا يعني بأن التشكيلات الثلاثة (DD,WA,WB) تتأثر بالأخطاء البعدية الداخلية بمقدار الضعف من تأثر التشكيلات الأخرى لنفس قيمة الخطأ البعدي الداخلي (الشكلان٩-٣ و ١٠-٣). نلاحظ على الشكل نفسه أن قيم الأخطاء المتساوية تنتشر شعاعيا منطلقة من المساري ذات المواقع المغلوطة و هذا التأثير ينقص على طول المسار الشعاعي أي فعليا يتناقص تأثير الأخطاء البعدية على القياسات مع ازدياد المسافة بين المساري في المسح .

تمت دراسة الخطأ البعدي الخارجي للمساري الأربعة أيضا ذات المكان الحاوي على نسبة خطأ (دون ذكر تفاصيل هذه الدراسة) . فقد وجد أن الخطأ البعدي الخارجي الناتج هنا مشابه للشكلان٩-٣ و١٠-٣ ما عدا أن الأخطاء البعدية الموجبة و السالبة لها نفس إشارة التأثير (تكون سالبة)، و قيمة التأثير الأعظمي بهذا الخطأ للتشكيلات: وينر ألفا ، ديبول– ديبول ، وينر بيتا لا يصل ٢%. و تكون أصغر بكثير من الأخطاء البعدية الداخلية التي تصل إلى ٢٠%، و يكون الخطأ الأعظمي أقل بكثير من ٢٪ من أجل بقية التشكيلات .



الشكل ٩-٣ مقطع الأخطاء النسبية البعدية و الناتج عن خطأ في أماكن المساري . تم تنفيذ خطأ بمقدار ١٠٪ على تشكيلات : شلمبرجير ، ديبل- ديبل ، وينر ألفا ، وينر غاما



الشكل ١٠-٣ مقطع الأخطاء النسبية البعدية و الناتج عن خطأ في أماكن المساري . تم تنفيذ خطأ بمقدار ١٠٪ علىتشكيلات : بول-بول ، بول-ديبل ، بول بيبول ، وينر

من المناقشة السابقة نرى أن تشكيلة وينر أ لفا و وينر بيتا و ديبول- ديبول تكون كبيرة التأثر بالأخطاء البعدية مع العلم أن تشكيلة وينر ألفا تعطي مقاطع مفسرة للمقاومية الكهربائية و قابلية الشحن منطبقة مع الموديلات الرقمية المفروضة للمقاومية الكهربائية و قابلية الشحن كما رأينا في الفقرة ١-٣ ، بينما تكون تشكيلة وينر و تشكيلة شلمبرجير ضعيفة التأثر بالأخطاء البعدية ، و هذا عامل رئيسي يرجح الكفة لصالح استخدام تشكيلة وينر شلمبرجير للمراقبة .

و كما ذكرنا يمكن أن نقلل من تأثير الأخطاء البعدية بالعمل الحذر من قبل فرقة العمل الحقلي بحيث يجب ألا يتجاوز الخطأ البعدي الداخلي لمساري التشكيلة ١٠٪ من بعدها الصحيح عن المساري المجاورة لها، فكلما كان الخطأ البعدي الداخلي لكل مسرى من مساري التشكيلة أقل من ١٠٪ كان تأثيره على مقطع المقاومية الكهربائية المفسر ليس كبيرا و بالتالي يكون تأثير الخطأ البعدي الداخلي على مقطع قابلية الشحن المفسر ليس كبيرا و ذلك لوجود علاقات رياضية تربط بين تفسير قابلية الشحن الظاهري مع تفسير المقاومية الكهربائية الظاهرية، و لكن إذا تجاوز هذا الخطأ البعدي الداخلي لأحد مساري التشكيلة ١٠٪ فإن هذا الخطأ سوف يعطي مقطع مقاومية كهربائية مفسر مشوش بتأثير الخطأ البعدي الداخلي لهذا للمسرى و بالتالي مقطع قابلية شحن مشوش أيضا . أما بالنسبة للخطأ البعدي الخارجي لمساري التشكيلة فليس له أية تأثيرات مهمة على المقاطع الجيوكهربائية المفسرة.

٢-٢-٣ أخطاء قياس الكمون الناتجة عن كمونات التشويش :

تنتج عن عدة عوامل مثل التماس السيئ بين المساري و الكابلات و الكابلات السيئة المهترئة و التشويش الناتج عن التيارات التللورية و خطوط الطاقة ، و المشاكل المتعلقة بالأجهزة .

الغاية من دراسة التشويش المؤثر على هذه التشكيلات هو أن نختار أي من التشكيلات الكهربائية قليلة التأثر بكمونات التشويش و تعطينا مقطعا مفسرا مطابق للواقع ، و تحديد العلاقة بين مقاطع المقاومية الكهربائية المفسرة المتأثرة بكمونات التشويش لكل تشكيلة مع عدد من معايير تقييم كمون التشويش مثل نسبة الإشارة على التشويش S/N و نسبة التشويش Noise% و تأثير الشواذ AE% و قوة الإشارة S(mv).

سندرس تأثر كل تشكيلة بالأخطاء الناتجة عن التشويش كمون باستخدام البرنامج **(Res ٢D mod)**، حيث يقوم البرنامج بإضافة تشويش(تم تطبيق تشويش مقداره ٦٪) على إشارات الكمون الناتجة عن كل تشكيلة للموديل المقترح (لم تشمل الدراسة هنا

قابلية الشحن و ذلك بسبب أن هذا البرنامج لا يقوم بتطبيق تشويش على الإشارة المسجلة لقابلية الشحن). من خلال البرنامج تم حساب المقاومية الظاهرية للموديل في حالة وجـــود تشويش و في حالة عدم وجوده لدراسة الاختلاف بينهما و ذلك لكافـــة التـــشكيلات ، تـــم ضرب قيمة المقاومية الظاهرية بقيمة شدة التيار الثابتة (mA=١A   ١٠٠٠) و تقسيم الناتج على ثابت التشكيلة K لنحصل على قيمة الكمون المسجل.

إشارة الكمون المشوشة المقاسة تحوي على نسبة تشويش % ɛ́ Noise تحسب كـــالتغير النسبي المئوي بين إشارة الكمون المقاسة المشوشة و الخالية من التشويش

:(Zhou, B. and Dahlin, T (٢٠٠٣))

$$Noise\ \acute{\varepsilon}\% = abs\left(\frac{U\ noisy - U\ clean}{U\ noisy}\right).100 \qquad ٣-١$$

% ɛ́ Noise نسبة التشويش و المحسوب بشكل إحصائي .

U noisy الكمون المشوش .

U clean الكمون الخالي من التشويش .

و قيمة التشويش تساوي الفرق في قيمة الكمون المشوش و الخالي من التشويش ***:(Zhou, B. and Dahlin, T (٢٠٠٣)***

$$Noise\ \acute{\varepsilon} = abs\ (U\ noisy - U\ clean) \qquad ٣-٢$$

و قد أجرى العالمان ***(Zhou and Greenhalgh ٢٠٠٣)*** قياسات مقاومية كهربائية عادية و بالتأثير المتبادل على تشكيلات مختلفة و مطبقة على موديلات مختلفة، و قد وجد بالتحليل الإحصائي بأن الخطأ النسبي للكمون المقاس في مواقع مختلفة يتناسب عكسا بشكل أسي مع قيمة الكمون المقاس ، أي أن المعادلة ١-٣ يعبر عنها بالمعادلة التالية:

$$Noise\ \% = \left(\frac{C1}{U\ noisy}\right)^{C2} \qquad ٣-٣$$

بحيث:

U noisy : إشارة الكمون المشوشة المسجلة .

C١ و C٢ : ثوابت موجبة تتغير بتغير الظروف الحقلية التي يتم القياس عندها و أوقـــات القياس .

و أما بالنسبة للمعطيات المشوشة و المعطاة في العلاقة ٢-٣ فتعطـــى بالعلاقـــة التاليـــة : *(Zhou, B. and Dahlin, T (٢٠٠٣))*

$$Noise = \frac{U\ noisy \times (Noise\ \%)}{100}(1+B) \qquad ٣-٤$$

حيث :B هو رقم لا على التعيين و يأخذ القيمة صفر ، و توضع R في المعادلة السابقة و ذلك من أجل تكبير أو تصغير القيمة S/N لجميع التشكيلات بنفس النسبة لكي لا تأخذ قيمة صغيرة أو كبيرة جدا و بالتالي سهولة مقارنة القيمة S/N بين جميع التشكيلات .

تبين المعادلة ٣-٣ أن نسبة التشويش أو الخطأ يزداد بنقصان إشارة الكمون المسجلة أي فرق الكمون المقاس. و تبين أيضا أن تأثر المعطيات بالتشويش عادة مـــا يعتمـــد علـــى الإشارة المسجلة (الكمون المقاس) للتشكيلة المستخدمة.

و باستخدام قيم مختلفة للثوابت C١ و C٢ حصلنا على قيم مختلفة للتشويش Noise% . و بالاستناد لتأثير الشواذ و التشويش المحتمل قدرنا نسبة الإشارة على المعطيات المشوشة signal/noise للمسوحات التي تمت بتشكيلات مختلفة و المطبقة على موديل السد.

تبين الأشكال ٣-١١،٣-١٢،٣-١٣،٣-١٤ نسبة التشويش Noise% المحسوبة بشكل إحصائي من المعادلة ١-٣ و المعادلة ٣-٣ بدلالة الكمون المقاس مقدرة بالميللي فولط لكل تشكيلة من التشكيلات موقعة بشكل لوغرتمي. نلاحظ على المنحنيات كيف أن نسبة التشويش Noise% تزداد بنقصان قيمة إشارة الكمون المقاس بشكل أسي. تحوي هذه المنحنيات على وسطي نسبة التشويش Noise%، و الإنحراف المعياري لها σ %.

تم دراسة أيضا بارمتر يسمى تأثير الشواذ (AE% anomly effect) المطور من قبل *(Militer ١٩٧٩)* و المستخدم عادة لتقييم فعالية قياسات المقاومية الظاهرية الناتجة عن تشكيلة معينة ، و تأثير الشواذ هذا نسبة مئوية يعبر عن التغير التحت سطحي الناتج عن هذا الشواذ ، و يتغير من تشكيلة لأخرى ، و من ناحية نمذجة المعطيات الجيوكهربائية ، فإن المسح الجيوكهربائي الجيد يجب أن يعطي قيمة عالية لتأثير الشواذ و الأعلى من الخلفية المشوشة على القياسات الجيوكهربائية ، و بمعنى آخر نقوم بحساب

المقاومية الظاهرية لموديل السد لكل تشكيلة من التشكيلات في حال وجود شاذ، ثم نقوم بحساب المقاومية الظاهرية لموديل السد و لكن بدون وجود الشواذ المفروض و نقوم بحساب وسطي القيمة المطلقة للتغير النسبي للمقاومية الظاهرية بين حالتي وجود شواذ و عدم وجوده لكل تشكيلة ***(Zhou, B. and Dahlin, T (٢٠٠٣))***.

و بالتالي تأثير الشواذ يحسب كالتالي حسب ***(Sjodahl,P. (٢٠٠٦))***:

AE%=١٠٠*{abs[ρa(model٢)- ρa(model١)]/ ρa(model١)}

٣-٥

ρa(model٢) المقاومية الظاهرية الناتجة عن التشكيلة في حال وجود شواذ في الموديل

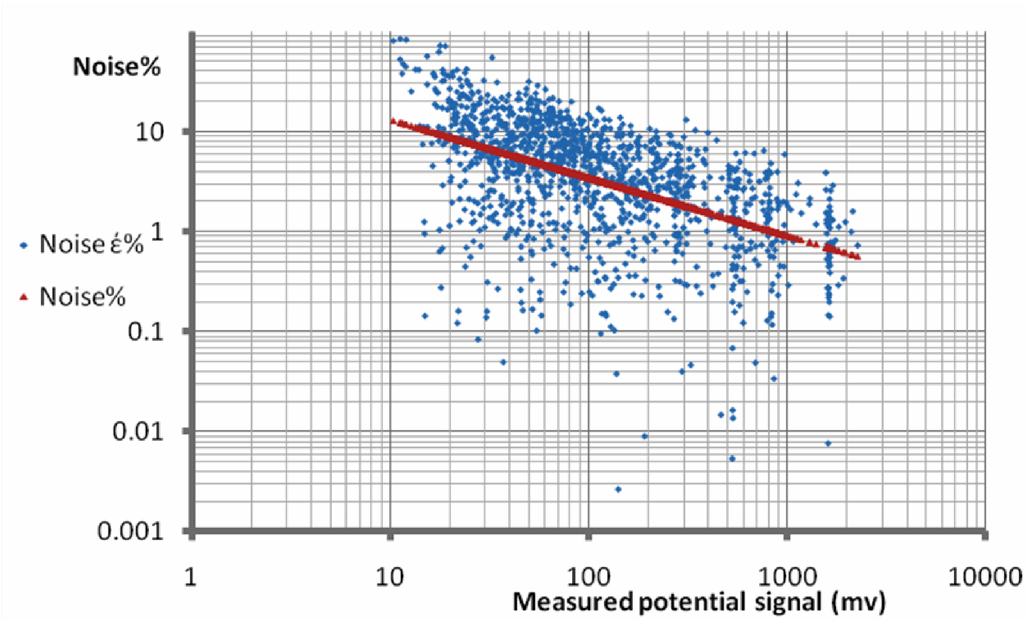
ρa(model١) المقاومية الظاهرية الناتجة عن التشكيلة في حال عدم وجود شواذ في الموديل .

يظهر الشكل ٣-١٥ كيفية حساب تأثير الشواذ لموديل السد ، حيث يمثل المقطع A١ مقطع المقاومية الكهربائية الظاهرية و المتأثر بتشويش مقداره (٦٪) الناتج عن موديل المقاومية الكهربائية الحقيقي A٢ في حال وجود شواذ مدروس ، و يمثل المقطع B١ مقطع المقاومية الكهربائية الظاهرية و المتأثر بتشويش مقداره (٦٪) الناتج عن موديل المقاومية الكهربائية الحقيقي B٢ في حال عدم وجود شواذ مدروس.

بعد ذلك حسبنا وسطي المعطيات المشوشة Noise data% ومن ثم وسطي نسبة S/N على اعتبار أن B=٠ ، و وسطي النسبة المئوية لتأثير الشواذ AE% ، و متوسط الإشارة المتأثر بالتشويش(mv) U لكل تشكيلة من التشكيلات و مثلت بمنحني بياني بحيث يمثل المحور الأفقي نوع التشكيل المستخدم و المحور العمودي كل من البارمترات السابقة الذكر (الشكل ٣-١٦ ، ٣-١٧ و الجدول٣-١).

بعد ذلك قمنا بتفسير المقاومية الكهربائية الظاهرية المتأثر بوجود التشويش فحصلنا على المقاطع المفسرة المبينة في الأشكال٣-١٨،٣-١٩،٣-٢٠،٣-٢١ لكل تشكيلة لنقارنها مع الموديل المفروض الحقيقي.

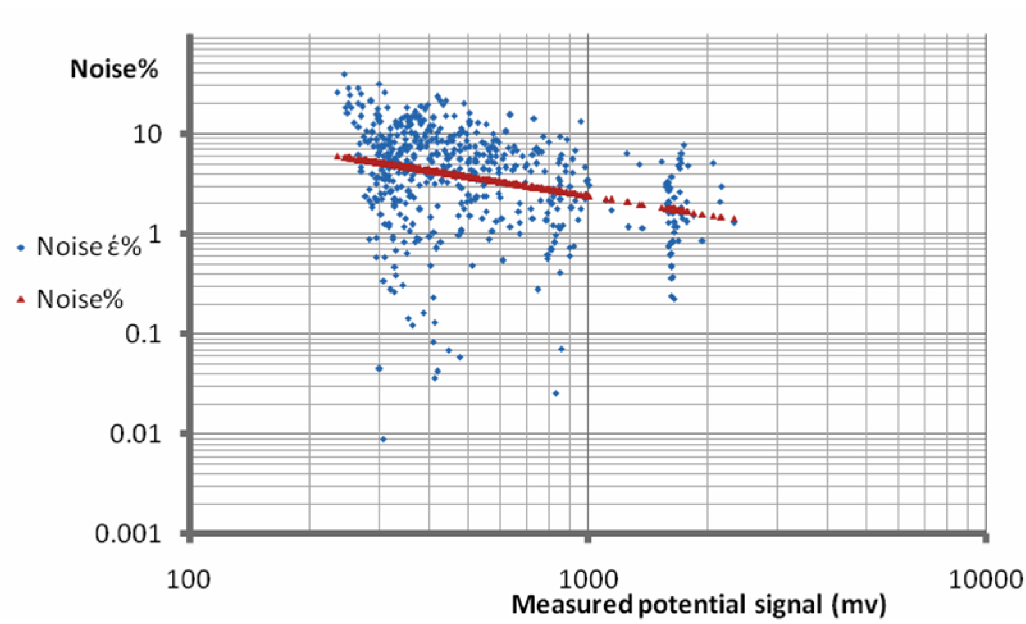
(ملاحظة : البرنامج لا يقوم بتطبيق تشويش على نتائج التشكيلة المتدرجة و لذلك تم حذفها) .



WN-SH : Noise(mean)% =٤ % σ (mean Standrad deviation) =٢,٤%

Noise%=(٨٤٠ /U)^{٠,٥٨}

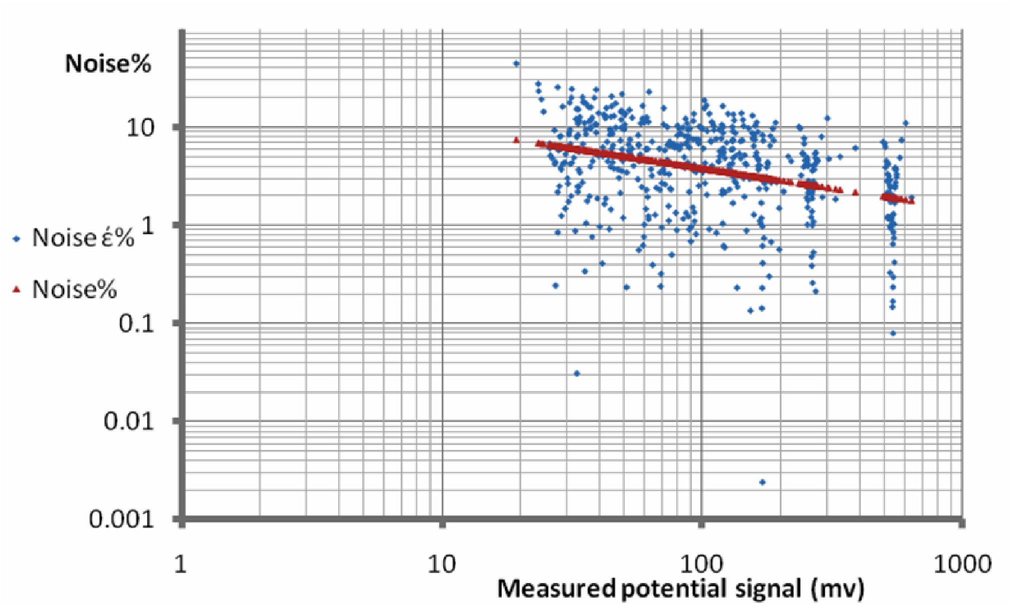
Signal/Noise=٤٠,٣



WN-A : Noise(mean)% =٣,٨ % σ (mean Standrad deviation) =١,١٢%

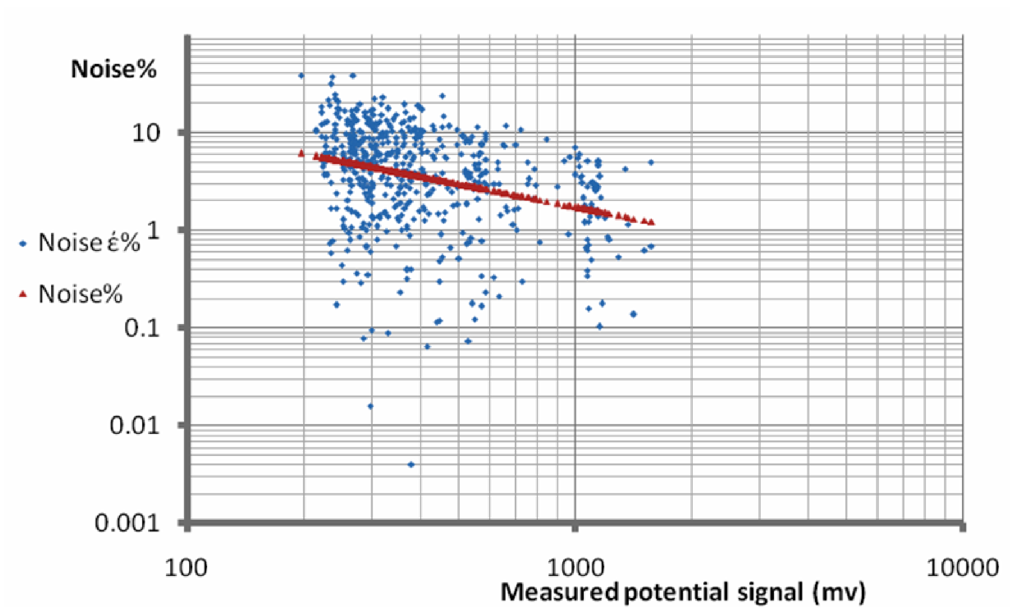
Noise%=(٤٠٠٠ /U)^{٠,٦٣} Signal/Noise=٢٩,٢٥

الشكل ١١-٣ منحني بيانس يمثل التغير النسبي بدلالة إشارة الكمون المقاسة (WN-A,WN-SH)



WN-B : Noise(mean)% =٤,١ % **σ (mean Standrad deviation) =١,٣٨%**

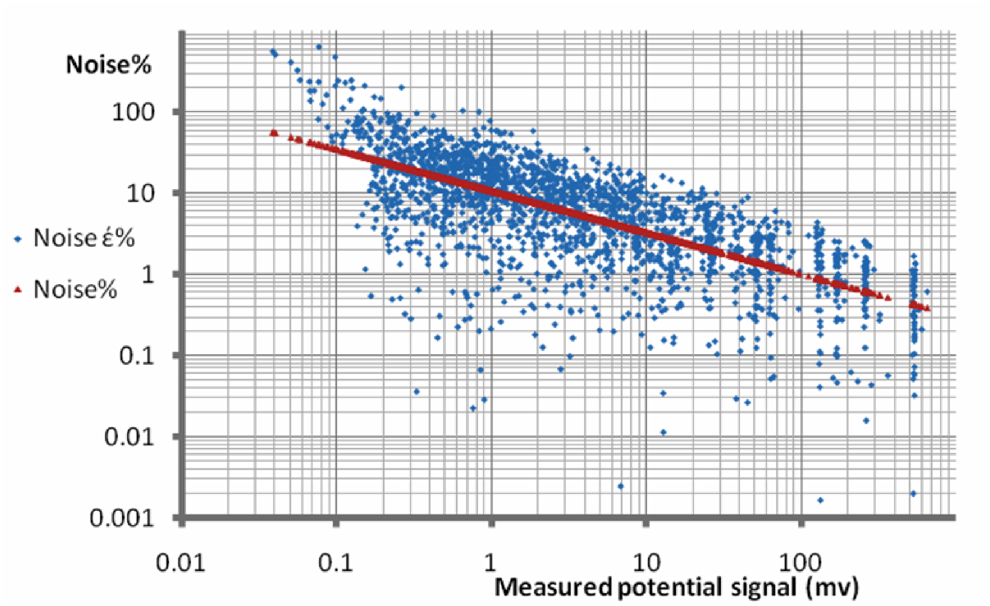
Noise%=(٢٧٠٠ /U)^٠,٤١ **Signal/Noise=٢٧,٨١**



WN-G : Noise(mean)% =٣,٧ % **σ (mean Standrad deviation) =١,١٤%**

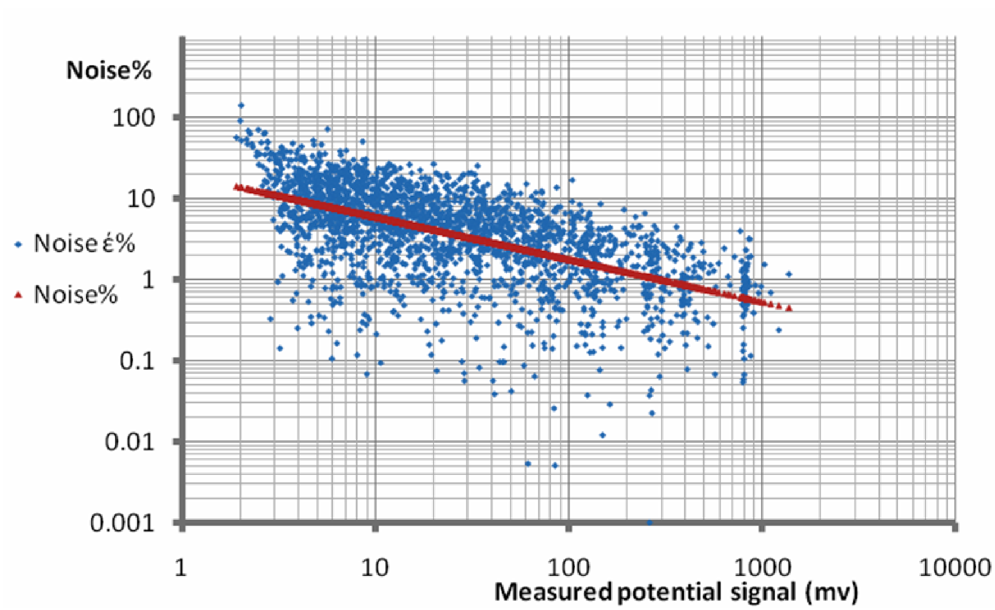
Noise%=(٢٠٠٠ /U)^٠,٧٨   Signal/Noise=٣٠,٨٦

الشكل ١٢-٣ منحني بياني يمثل التغير النسبي بدلالة إشارة الكمون المقاسة (WN-G,WN-B)



DD : Noise(mean)% =٤,٧٩ %   σ (mean Standrad deviation) =٧,٨٢%

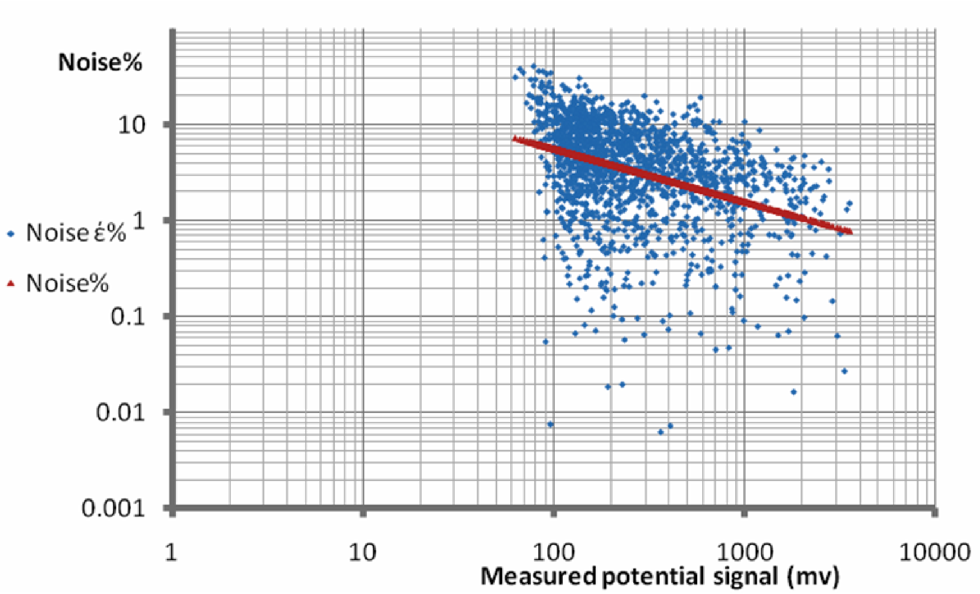
Noise%=(١٠٠ /U)^٠,٥١   Signal/Noise=٣٥,٢٢



PD : Noise(mean)% =٢,٨٤ % **σ (mean Standrad deviation) =٢,٩١%**

Noise%=(٣٠٠ /U)^{٠,٥٢} **Signal/Noise=٣٧,٤٥**

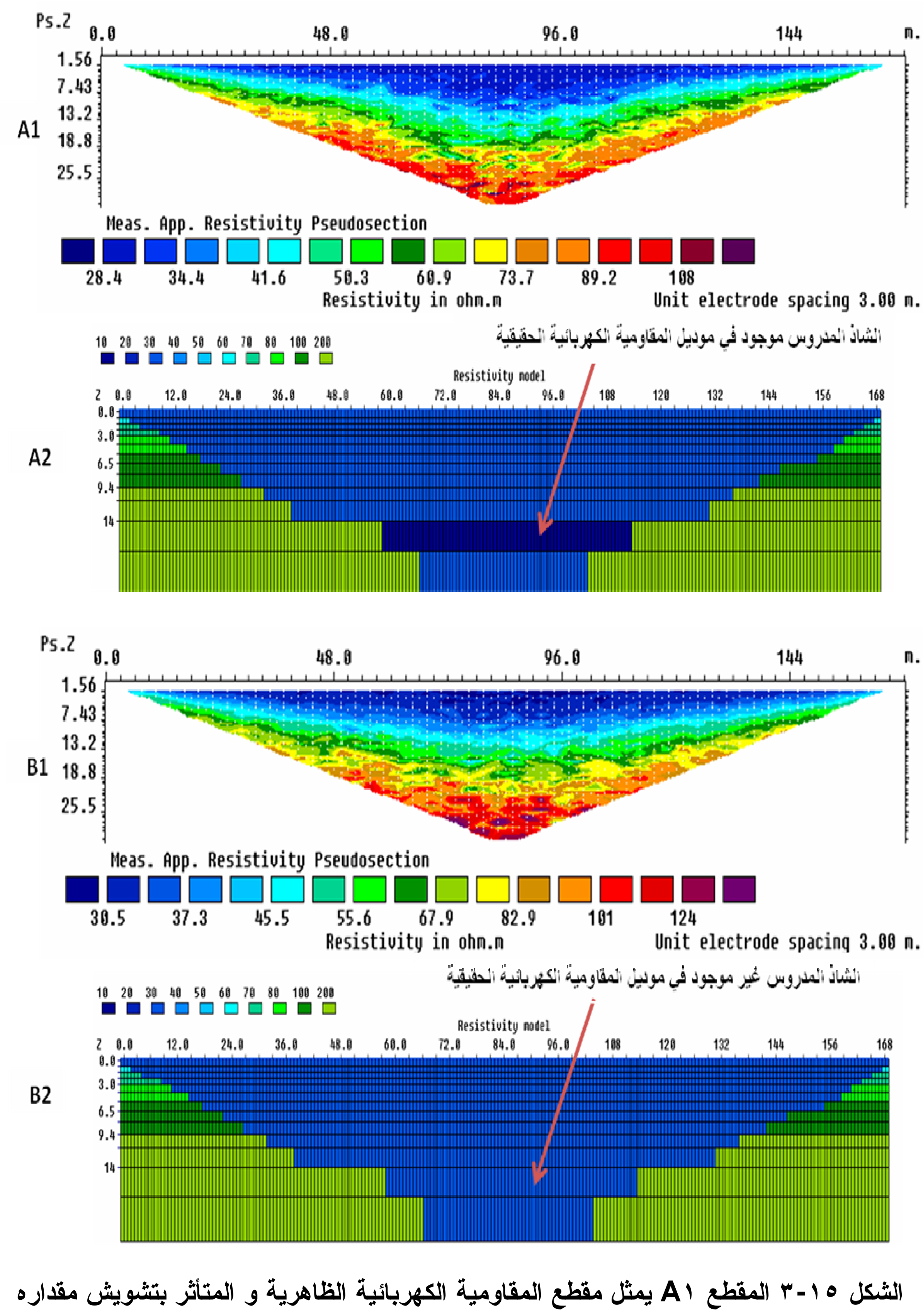
الشكل ١٣-٣ منحني بياني يمثل التغير النسبي بدلالة إشارة الكمون المقاسة (PD,DD)



PP : Noise(mean)% =٣,٢٤ % **σ (mean Standrad deviation) =١,٣٦%**

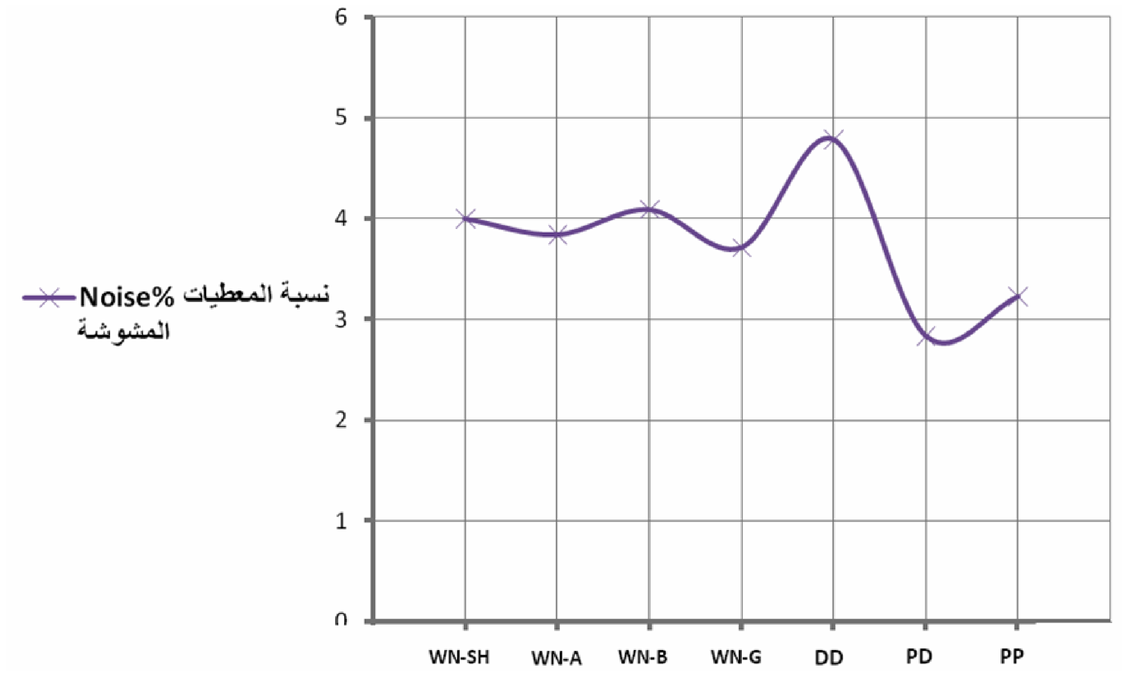
Noise%=(٢٣٠٠ /U)^{٠,٥٥} **Signal/Noise=٣٣,٨٦**

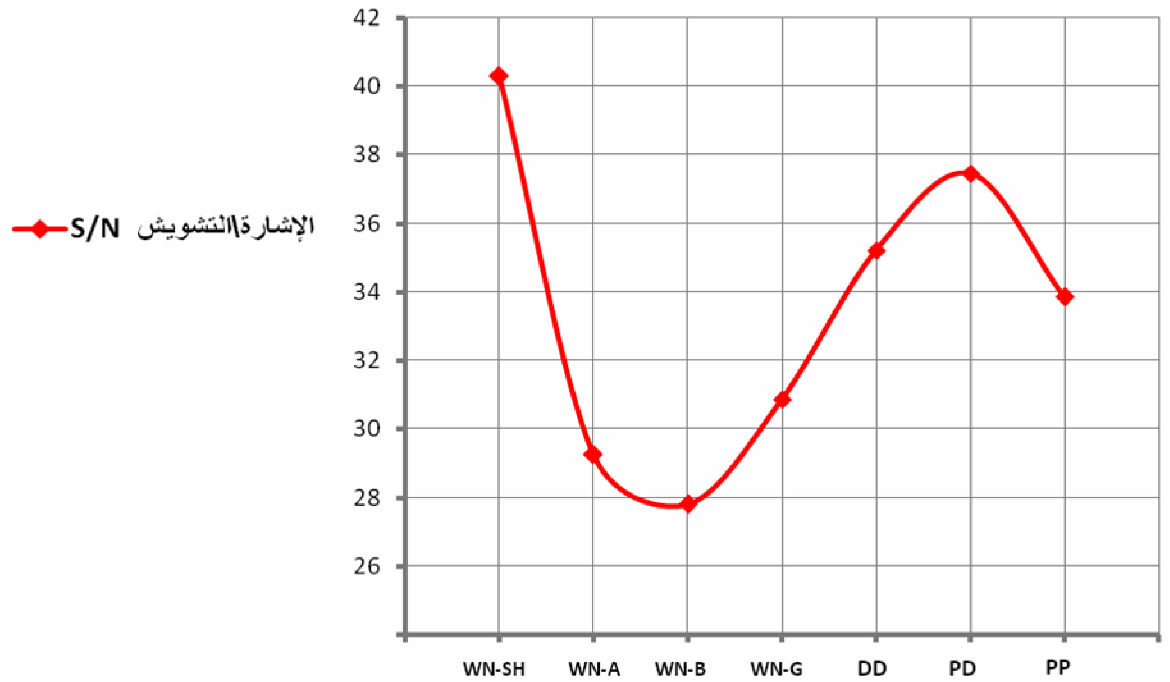
الشكل ١٤-٣ منحني بياني يمثل التغير النسبي بدلالة إشارة الكمون المقاسة (PP)



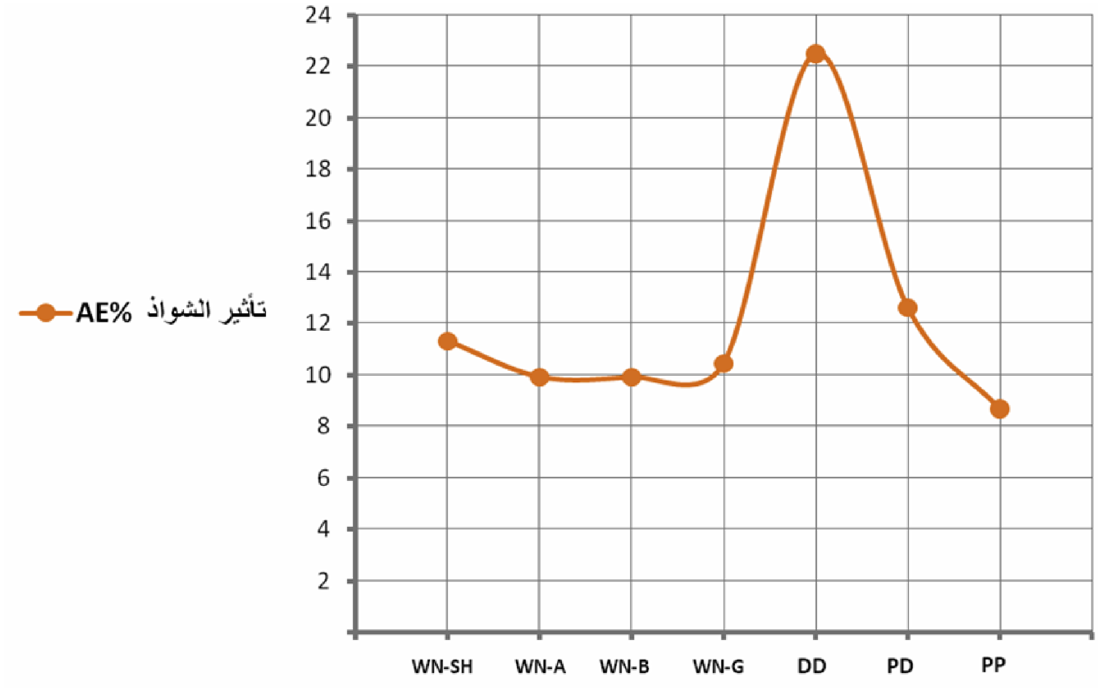
الشكل ١٥-٣ المقطع A١ يمثل مقطع المقاومية الكهربائية الظاهرية و المتأثر بتشويش مقداره (٦٪) الناتج عن موديل المقاومية الكهربائية الحقيقي A٢ في حال وجود شواذ مدروس ، حيث

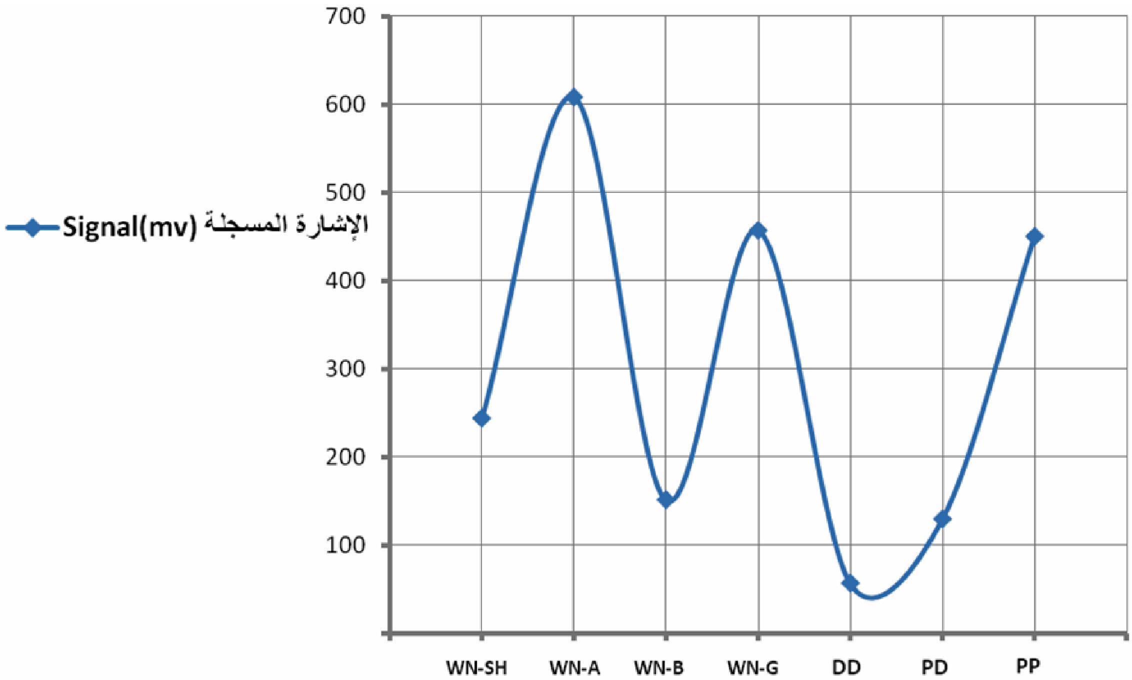
المقطع B١ يمثل مقطع المقاومية الكهربائية الظاهرية و المتأثر بتشويش مقداره (٦٪) الناتج عن موديل المقاومية الكهربائية الحقيقي B٢ في حال عدم وجود شواذ مدروس.





الشكل ١٦-٣ منحنيات تبين تغير وسطي S/N, Noise% بدلالة التشكيلات المختلفة

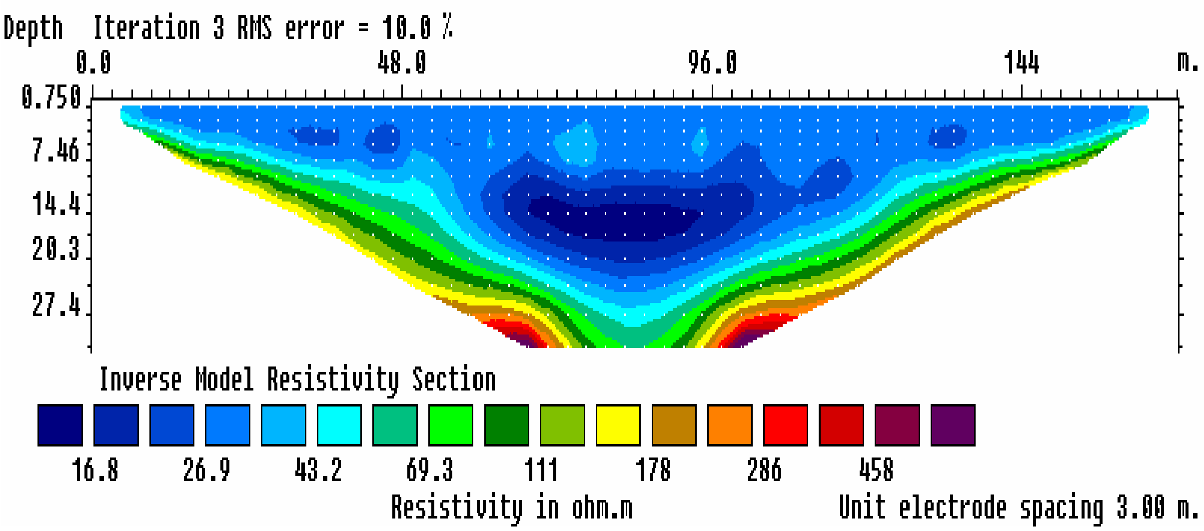




الشكل ١٧-٣ منحنيات تبين تغير وسطي AE% , Signal بدلالة التشكيلات المختلفة

جدول رقم ١-٣ قيم وسطي AE%, Signal , Noise%, S/N بدلالة التشكيلات المختلفة

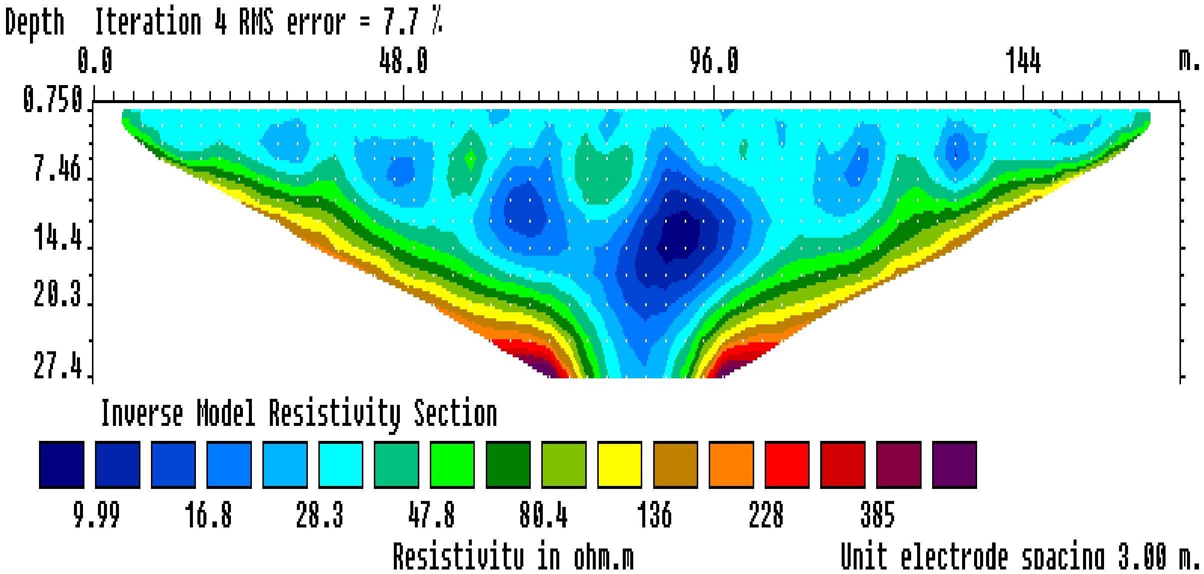
التشكيلة	WN-SH	WA	WB	WG	DD	PD	PP
الإشارة\التشويش S/N	40.29632	29.24826	27.81152	30.86015	35.21644	37.45404	33.85634
نسبة المعطيات المشوشة Noise%	4.002315	3.841483	4.090957	3.714237	4.78824	2.835132	3.226266
الإشارة المسجلة Signal	243.8563	608.5733	151.2508	457.1614	56.63557	129.4668	450.3938
تأثير الشواذ AE%	11.32238	9.919753	9.916138	10.45392	22.52121	12.61164	8.667412



WN-SH : Noise(mean)% =٤ % σ (mean Standrad deviation) =٢,٤%

Noise%=(٨٤٠ /U)^٠,٥٨

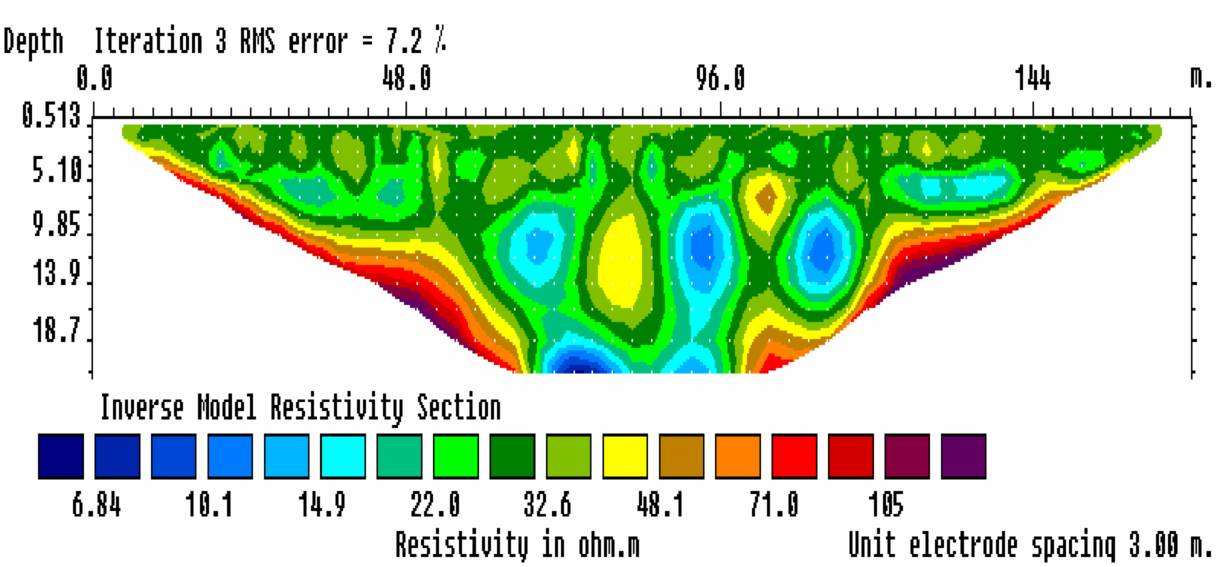
Signal/Noise=٤٠,٣



WN-A : Noise(mean)% =٣,٨ % σ (mean Standrad deviation) =١,١٢%

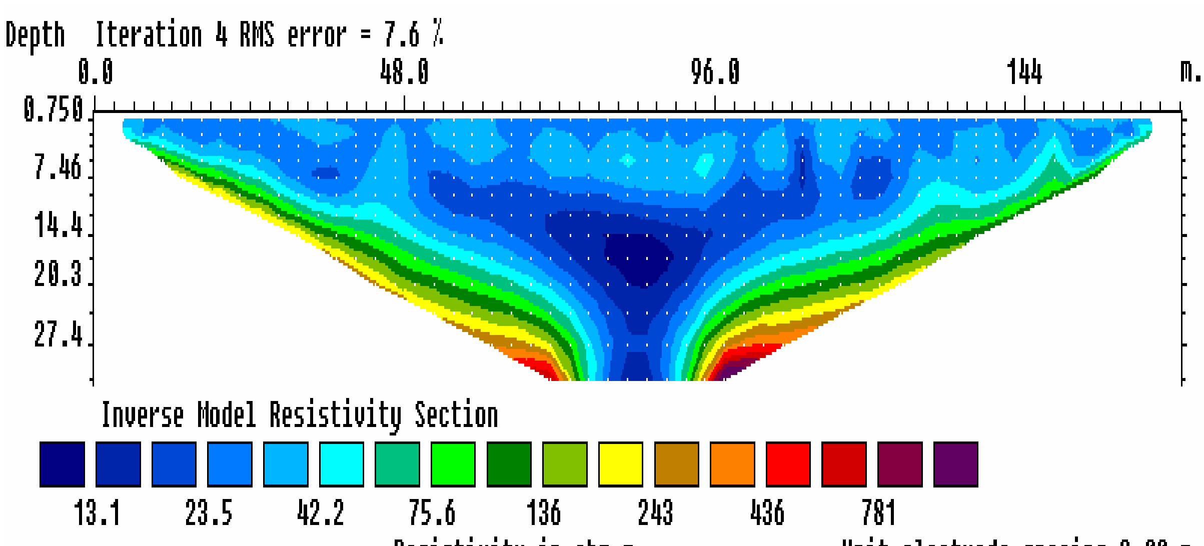
Noise%=(٤٠٠٠ /U)^٠,٦٣ Signal/Noise=٢٩,٢٥

الشكل ١٩-٣ مقاطع المقاومية الكهربائية المفسرة للموديل المفروض و المتأثرة بالتشويش لتشكيل WNA,WN-SH



WN-B : Noise(mean)% =٤,١ % **σ (mean Standrad deviation) =١,٣٨%**

Noise%=(٢٧٠٠ /U)^{٠,٤١} **Signal/Noise=٢٧,٨١**

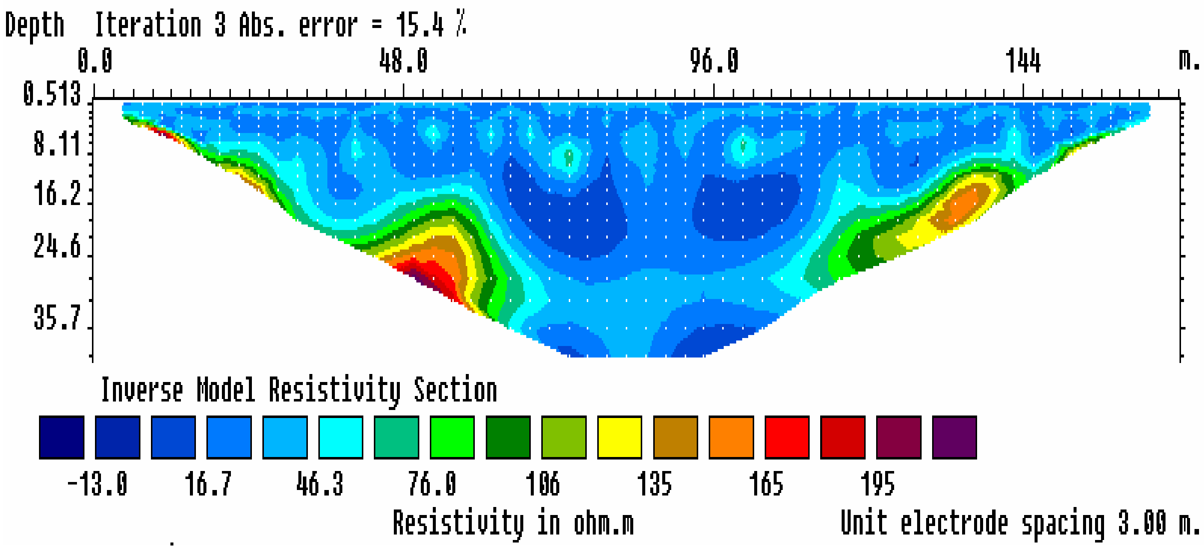


WN-G : Noise(mean)% =٣,٧ % **σ (mean Standrad deviation) =١,١٤%**

Noise%=(٢٠٠٠ /U)^{٠,٧٨} **Signal/Noise=٣٠,٨٦**

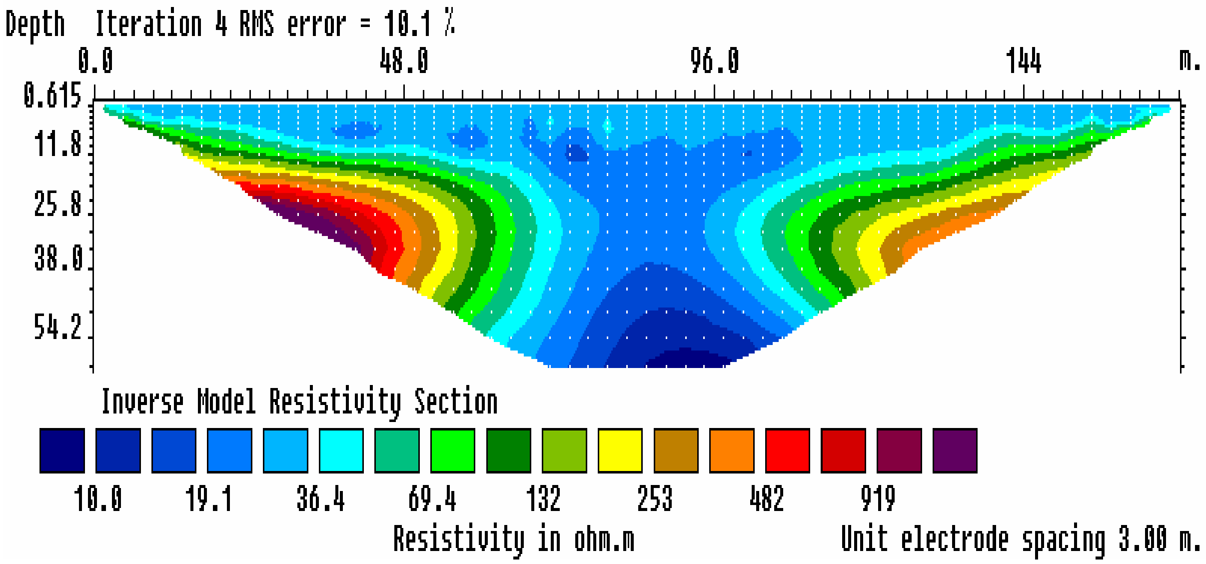
الشكل ٢٠-٣ مقاطع المقاومية الكهربائية المفسرة للموديل المفروض و المتأثرة بالتشويش لتشكيل

WN-G,WN-B



DD : Noise(mean)% =٤,٧٩ % **σ (mean Standrad deviation) =٧,٨٢%**

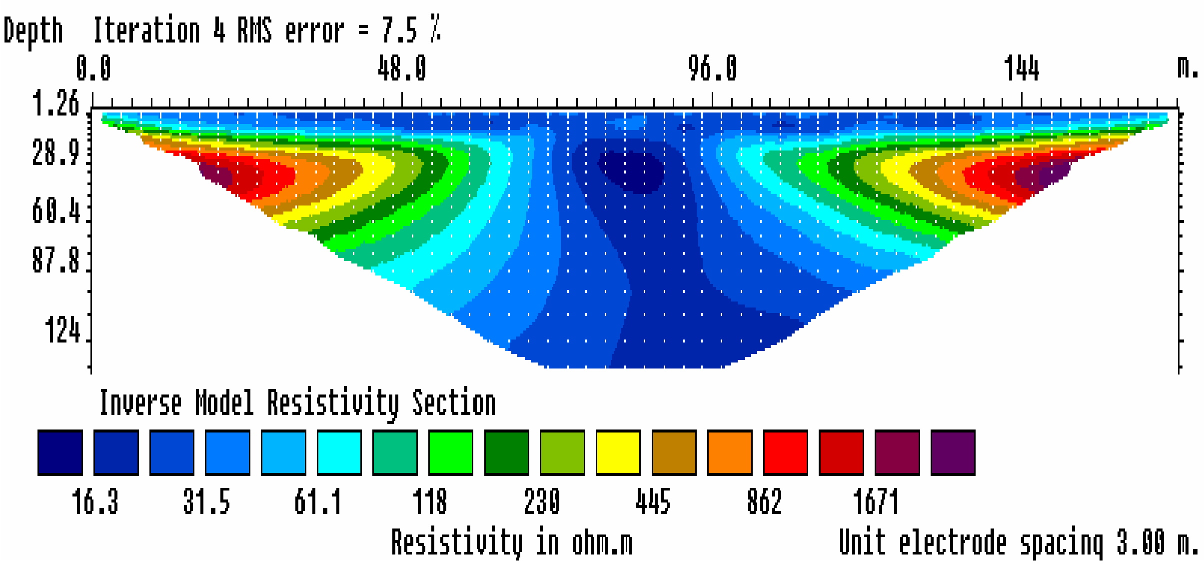
Noise%=(١٠٠ /U)٠,٥١ **Signal/Noise=٣٥,٢٢**



PD : Noise(mean)% =٢,٨٤ % **σ (mean Standrad deviation) =٢,٩١%**

Noise%=(٣٠٠ /U)٠,٥٢ **Signal/Noise=٣٧,٤٥**

الشكل ٢١-٣ مقاطع المقاومية الكهربائية المفسرة للموديل المفروض و المتأثرة بالتشويش لتشكيل
PD,DD



PP : Noise(mean)% =٣,٢٤ % **σ (mean Standrad deviation) =١,٣٦%**

Noise%=(٢٣٠٠ /U)^{٠,٥٥} **Signal/Noise=٣٣,٨٦**

الشكل ٢٢-٣ مقاطع المقاومية الكهربائية المفسرة للموديل المفروض و المتأثرة بالتشويش لتشكيل
PP

سنميز بين التشكيلات من خلال المعايير التالية (لاحظ الجدول ١-٣ و الأشكال ١٧-٣ و ١٦-٤):

- المعيار الاول(نسبة الإشارة على التشويش الملتقط S/N) : إذا أخذنا أول معيار و هو S/N نلاحظ أن تشكيلة وينر شلمبرجير و تشكيلة بول – ديبول و تشكيلة ديبول- ديببول و بول – بول تعطي أكبر قيمم من النسبة S/N . تعطي تشكيلة وينر شلمبرجير مقطع مقاومية كهربائية مفسر قريب من موديل المقاومية الكهربائية الحقيقي المفروض ، و لكن إذا ما نظرنا إلى المقطع المفسر لتشكيلة بول – ديببول و ديبول- ديببول وبول-بول نلاحظ أن هذه التشكيلات تعطي مقطع مقاومية كهربائية مفسر غير مطابق لموديل المقاومية الكهربائية الحقيقي المفروض على الإطلاق و غير واضح المعالم .

- المعيار الثاني (معطيات التشويش الملتقطة Noise %) : حيث نلاحظ أن تشكيلتي بول – ديبل و بول – بول ، تعطيان أقل قيمة من معطيات التشويش الملتقطةNoise% ، و لكن كل من هاتين التشكيلتين تعطيان مقطع مقاومية كهربائية مفسر غير مطابق لموديل المقاومية الكهربائية الحقيقي المفروض.

- المعيار الرابع (الإشارة المسجلة Signal%) : نلاحظ أن تشكيلات وينر- ألفا و وينر-غاما و بول- بول تعطي أقوى إشارة مسجلة . يطابق مقطع المقاومية الكهرباية المفسر الناتج عن تشكيلة وينر- غاما نوعا ما موديل المقاومية الكهربائية الحقيقي المفروض،أما تشكيلة وينر ألفا تعطي مقطع مقاومية كهربائية مفسر يبدي مقدارا ضعيفا من التشابه مع الموديل الحقيقي المفروض ،لكن تشكيلة بول – بول تعطي مقطع مقاومية كهربائية مفسر غير مطابق لموديل المقاومية الكهربائية الحقيقي المفروض . نلاحظ هنا أيضا أن تشكيلة ديبل – ديبل تعطي أضعف قيمة من الإشارة المسجلة لذلك تعطي أكبر قيمة للتشويش الملتقط Noise%.

- المعيار الخامس (تأثير الشواذ AE%) : حيث نلاحظ أن تشكيلة ديبول-ديبول تعطي أكبر قيمة من تأثير الشواذ و تصل إلى قيمة ٢٠٪ و لكن تشكيلة ديبل – ديبل تعطي مقطع مقاومية كهربائية مفسر غير مطابق لموديل المقاومية الكهربائية الحقيقي المفروض.

نلاحظ على المقاطع المفسرة في الأشكال ٣-١٨،٣-١٩،٣-٢٠،٣-٢١ أن تشكيلة وينر شلمبرجير تعطي مقطع مفسر للمقاومية الكهربائية مطابق لموديل المقاومية الكهربائية الحقيقي المفروض أكثر من أي تشكيلة أخرى ، بالإضافة إلى إمكانية تثبيت مساري الكمون في تشكيلة وينر شلمبرجير. و هذا مفيد من أجل قياس الكمون الطبيعي المتغير مع الزمن لنقطة السبر الواحدة لفترة تشمل ساعة واحدة اثناء قياس السبر الشاقولي.

لذلك نستنتج مما سبق أن القيمة العالية من نسبة الإشارة على التشويش S/N ، و المقدار الضئيل من المعطيات المتأثرة بالتشويش Nose% ، و قوة الإشارة العالية Signal(mv)، و تأثير الشواذ العالي القيمة AE% لا يعطي دائما و بالضرورة مقطع مقاومية كهربائية مفسر واضح، لذلك فالمعيار الرئيسي في اختيار أي تشكيلة هو نمط الحساسية لهذه التشكيلة و تأثرها الجيد بالشكل الهندسي للشاذ و أبعاده الهندسية ، و تكون المعايير الأخرى(S/N،Noise%،Signal.mv،AE%) معايير مكملة و إضافية لمعيار نمط الحساسية. و كما لاحظنا فتشكيلة وينر شلمبرجير تبدي نمط حساسية متأثر بشكل جيد مع الشواذ الأفقية و تعطي مقطع مقاومية كهربائية مفسر قريب من موديل المقاومية الكهربائية الحقيقي المفروض (الشكل ٢٦-٣) على الرغم من التشويش الكموني المطبق عليها ، بالإضافة إلى تأثرها القليل بالأخطاء البعدية .

لذلك نتيجة للمناقشة السابقة لكافة التشكيلات ، تم اعتماد تشكيلة وينر شلمبرجير لمراقبة جسم سد حبران ، وتم استبعاد تشكيلة وينر ألفا و بيتا لتأثرها الكبير بالأخطاء البعدية

و الجدير بالذكر أن من الخطأ الشائع في العديد من الشركات والجهات الدارسة استخدام تشكيلات لا تناسب مع المشكلة المطروحة . مثل استخدام تشكيلة ديبل ديبل للمراقبة الجيوكهربائية للسدود على اساس أنها ضعيفة التأثر بالتشويش بسبب البعد الثابت لمساري الكمون في القياسات العادية و التأثير المتبادل و هذا غير صحيح وذلك بسبب أن تشكيلة ديبل – ديبل تتمتع بأقل قيمة لإشارة الكمون المسجلة بسبب البعد المتزايد بين مساري الكمون و مساري التيار أثناء أخذ القياسات بهذه التشكيلة ، و بالتالي ازدياد نسبة المعطيات المشوشة Noise%. بالإضافة إلى أن تشكيلة ديبل– ديبل قليلة التأثر بالشواذ الأفقية التي غالبا ما تتواجد في السدود ، وذلك نتيجة لطبيعة توزع خطوط الكمون و التيار لهذه التشكيلة (نمط الحساسية) ، و أيضا إلى التأثر الكبير لتشكيلة (DD) بالأخطاء البعدية ، و علاوة على ذلك التأثر الكبير لتشكيلة ديبل–ديبل بالشكل الهندسي للسدود أكثر من أية تشكيلة أخرى.

يتم تقييم نوعية المعطيات حقليا بالقيام بالقياسات المتبادلة و قياسات التأثير المتبادل (حيث المسريان M,N يكونان مسريان تيار و A,B مسريان كمون) بعد القيام بالقياسات العادية (حيث المسريان A,B يكونان مسريان تيار و M,N مسريان كمون) على نفس النقطة . فإذا كان انتشار الحقل الكهربائي لا يتأثر بأية تشويش كموني فإن القياسات العادية و المتبادلة سوف تعطي النتائج نفسها ، و بالتالي فإن حساب التغير النسبي في الإشارة الكمونية المسجلة بين النوعين من القياسات سوف يعطي تقدير لأغلاط القياسات أي نسبة المعطيات المشوشة Noise% ، بحيث يتم حساب القيمة الوسطية (mean) أو الوسيطة (median) لنسبة المعطيات المشوشة Noise% ثم حساب الانحراف المعياري النظامي لها، فإذا تجاوزت القيمة الوسطية للمعطيات المشوشة (التغير النسبي لإشارة الكمون) القيمة Noise%=٥%، سيظهر تأثير التشويش الكموني الخارجي على مقطع المقاومية الكهربائي المفسر و بالتالي على مقطع قابلية الشحن المفسر، إما إذا لم تتجاوز نسبة المعطيات المشوشة هذه القيمة فإن مقاطع المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن المفسر ستكون خالية من تأثير التشويش الكموني الخارجي .

من الطبيعي أن يكون التشويش لبعض التشكيلات في قياسات التأثير المتبادل أكبر من القياسات العادية ، و ذلك بسبب الطول الكبير بين مساري الكمون في قياسات التأثير المتبادل و هذا البعد الكبير بين مساري الكمون يميل إلى التقاط التشويش بشكل أكبر، وهذا ينطبق على تشكيلات و ينر، شلمبرجير ، بول ديبل . و لكن في قياسات ديبل ديبل فإن القياسات العادية و التأثير المتبادل تكون معكوسة و لذلك لا يجب أن تختلف في خصائص التشويش بشكل عام،ولهذا يمكن اعتبار القياسات العادية و التأثير المتبادل اسلوبا مناسبا لتقييم نوعية المعطيات وجودتها(***Bing Zhou and Torleif Dahlin* ٢٠٠٣**).

عند القيام بالقياسات العادية و المتبادلة حقليا تكون الإشارة المسجلة هي عبارة عن المقاومة الكهربائية $\Delta u/I$ و ذلك بسبب أن شدة التيار ليست ثابتة ، و بالتالي تصبح المعادلات ٣-١ ، ٣-٣ و ٣-٤ ***(Sjodahl,P. (٢٠٠٦)), (Zhou, B. and Dahlin, T (٢٠٠٣))***:

$$Noise\ \acute{\varepsilon}\% = abs\left(\frac{R\,norm - R\,res}{\frac{Rnorm + Rres}{2}}\right).100 = abs\left(\frac{R\,norm - R\,res}{Rmean}\right).100 \qquad ٣-٦$$

$$Noise\ \% = \left(\frac{C1}{R\,mean}\right)^{C2} \qquad ٣-٧$$

$$Noise = \frac{R\,mean \times (Noise\,\%)}{100}(1 + B) \qquad ٣-٨$$

Rnorm : المقاومة الكهربائية في حالة القيام بالقياس العادي .

Rres : المقاومة الكهربائية في حال القيام بقياسات التأثير المتبادل .

R mean: وسطي المقاومة الكهربائية للقياسات العادية و التأثير المتبادل.

و يوجد طريقة أخرى للتحقق من جودة المعطيات الحقلية و لكنها أقل استخداما هي تكرار القياسات في نفس النقطة من أجل حساب القيمة الوسطية (mean) أو الوسيطة (median) للإشارة المسجلة ثم حساب الانحراف المعياري النظامي كتقدير للخطأ في القياسات للنقطة المدروسة ، و على كل حال لقد لوحظ عمليا بأن المعطيات السيئة (الأخطاء الكبيرة)يمكن أن تظهر في عملية القياسات المتكررة بشكل كبير جدا، بحيث أن هذه الأخطاء تكون ناتجة مثلا عن التقارن السعوي(Capacitive coupling)، فالقيمة الصغيرة للانحراف المعياري هنا ليست بالضروة مؤشر على معطيات ذات نوعية جيدة ((**Bing Zhou and Torleif Dahlin(٢٠٠٣**)).

الفصل الرابع

الأعمال الحقلية المنفذة

نفذت جميع القياسات الجيوكهربائية بجهاز SYSCAL-R٢ الفرنسي الصنع التابع لمخبر الجيوكهربائية في قسم الجيولوجيا بجامعة دمشق . ويتميز هذا الجهاز بأنه جهاز حديث ذو شاشة رقمية و هو مبرمج لتحديد مدة إمرار التيار وحساب ثابت التشكيل المستخدم في القياس. كما انه يقيس بأمر واحد الكمون الطبيعي و شدة التيار المرسل وفرق الكمون ، ويحسب المقاومية الظاهرية بالإضافة لقياس الاستقطاب التحريضي في المجال الزمني (قابلية الشحن). كما يشير إلى نسبة خطأ القياس إذا حدث خطأ في ظروف القياس من سوء في التأريض أو غير ذلك . لذلك حاولنا أن نستفيد من كل ميزات الجهاز بقياس الكمون الطبيعي و المقاومية الكهربائية الظاهرية و قابلية الشحن الظاهرية. مع الأخذ بعين الاعتبار أن تكون نسبة الخطأ المبينة في الجهاز تساوي الصفر وفي حالات نادرة تساوي الواحد كحد أقصى .حاولنا قدر الإمكان تفادي القيم السالبة لقابلية الشحن المقاسة بإجراء قياسات تجريبية لتحديد الجهد و زمن إرسال نبضة مناسبين و الذين يعطيان قيم قابلية شحن مناسبة و موجبة . و في فصل الشتاء عندما كانت الطبقة العلوية رطبة جدا قمنا بزيادة شدة الجهد المطبق لاختراق أعماق أكبر مع مراعاة قيم قابلية الشحن .

بما أن مراقبة سد حبران جيوكهربائيا تتم بتنفيذ القياسات مع الزمن ، لذلك نفذت الأعمال الحقلية الجيوكهربائية على جسم سد حبران في ثلاثة مراحل خلال أشهر أيار ٢٠٠٧ و كانون أول ٢٠٠٧ و نيسان ٢٠٠٨ .

٤-١ قياسات المرحلة الأولى في الشهر الخامس من عام ٢٠٠٧:

المرحلة الأولى في الشهر الخامس من عام ٢٠٠٧

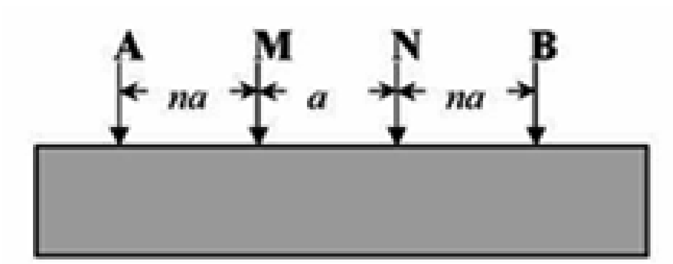
المنسوب مياه البحيرة ينخفض سطح ماء البحيرة مقدار ٣m عن قمة السد.

درجة حرارة مياه البحيرة : T=٢٢ C°

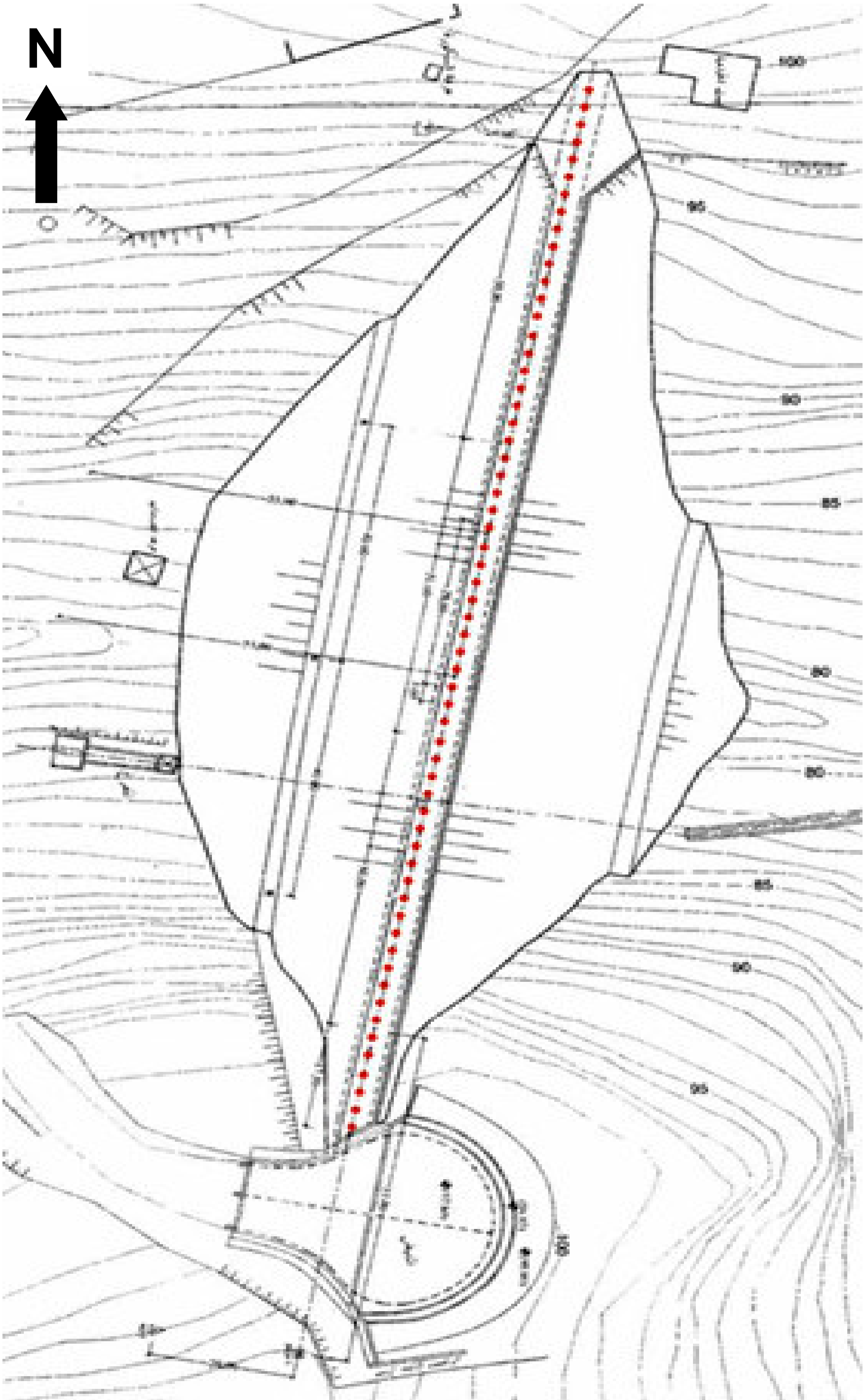
تركيز الأملاح المنحلة في مياه البحيرة: TDS=١٢٤ mg\L

١-١-٤ سبور شاقولية للمقاومية الكهربائية و قابلية الشحن :

نفذت سبور جيوكهربائية شاقولية بتشكيل وينر شلمبرجير (المقاومية الكهربائية و **قابلية الشحن**)، بحيث كان البعد بين مساري الكمون a= ٣m و مساويا للبعد بين كل مسرى كمون و مسرى التيار المجاور له ، و تم إبعاد مساري التيار بمقدار : n*a حيث n=١,٢,٣....., وكان أكبر تباعد AB/٢=٧٦,٥m (الشكل١-٤) . والبعد بين نقطة السبر والنقطة التالية ٣m، فبلغ عدد نقاط السبر الجيوكهربائي الشاقولي ٥٤ نقطة سبر (الشكل٢-٤). و نفذت هذه السبور باستخدام مساري معدنية للتيار ، و مساري غير قابلة للاستقطاب مملوءة بسائل كبريتات النحاس CuSo٤ لقياس فرق الكمون الذاتي الطبيعي .



الشكل ١-٤ تشكيلة وينر شلمبرجير



الشكل٢–٤ مكان المساري الثابتة ممثلة بنقاط حمراء على سطح جسم السد.

٢-١-٤ الكمون الذاتي الطبيعي المرافق للسبر الجيوكهربائي الشاقولي:

قياس مقدار تغير فرق الكمون الذاتي الطبيعيSP عند كل نقطة VES على طول زمن قياس VES و تساوي ساعة من الزمن، و ذلك بعد حذف تأثير التيارات التللورية بواسطة مسريين غير قابلين للاستقطاب موجودين خارج السد و موصولين لجهاز القياس، وقد بلغ عدد نقاط القياس ٥٤ نقطة قياس. الجدير بالذكر انه في هذه المرحلة كانت معرفتنا المسبقة عن وجود شواذ كهربائية معينة في جسم السد معدومة ،لأن جسم السد يدرس جيوكهربائيا لأول مرة. و لذلك تم الاكتفاء بهذه القياسات الكهربائية فقط (سبور جيوكهربائية شاقولية للمقاومية الكهربائية و قابلية الشحن – والكمون الذاتي الطبيعي المرافق للسبر الجيوكهربائي الشاقولي) لنكون معرفة أولية عن الشواذ الكهربائية الموجودة في النواة الغضارية للسد.

٢-٤ قياسات المرحلة الثانية في الشهر الحادي عشر من عام٢٠٠٧:

المرحلة الثانية في الشهر الحادي عشر من العام ٢٠٠٧

المنسوب مياه البحيرة ينخفض سطح ماء البحيرة مقدار ٦m عن قمة السد.

درجة حرارة مياه البحيرة : T=٨ C°

تركيز الأملاح المنحلة في مياه البحيرة: TDS=١٤٣ mg\L

١-٢-٤ سبور جيوكهربائية شاقولية للمقاومية الكهربائية و قابلية الشحن والكمون الذاتي الطبيعي المرافق للسبر الشاقولي :

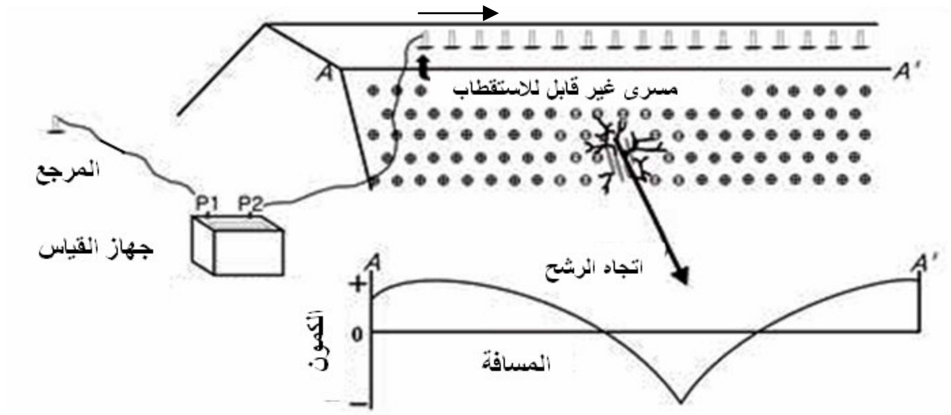
بعد أن تم التعرف بشكل أقرب على الشواذ الكهربائية الموجودة في السد نتيجة المعطيات في المرحلة الأولى ، أعيد تنفيذ السبور السابقة نفسها .

٢-٢-٤ مسح الكمون الذاتي الطبيعي:

أضفنا في هذه المرحلة مسح الكمون الذاتي الطبيعي . تجرى القياسات بتحديد نقطة مرجعية خارج السد ، و ذلك من أجل ألا تؤثر الرشوحات الموجودة داخل جسم السد إن وجدت على المسرى المرجع. يوضع مسريي الكمون (غير قابلة للاستقطاب) في نقطة المرجع ويتم القياس فيها . ثم نبقي المسرى M ثابتا في نقطة المرجع و نحرك المسرى الثاني N على طول جسم السد في مواقع السبور الشاقولية أي بإزاحة ٣m وبلغ عدد

نقاط القياس ٥٦ نقطة قياس . وبعد الوصول إلى نهاية خط القياس نعود إلى نقطة المرجع ونعيد القياس فيها مع تسجيل زمن القياس الأول و الأخير بهدف تصحيح قياسات الكمـــون الطبيعي المتغيرة مع الزمن كما في الشكل٣-٤. ففرق الكمون المقاس في نقـــاط القيـــاس تمثل كمون نقطة الإلكترود(N) . و هذه الطريقة تسمح بزيادة مردود عمليات القيـــاس و تسهل معالجة القياسات .

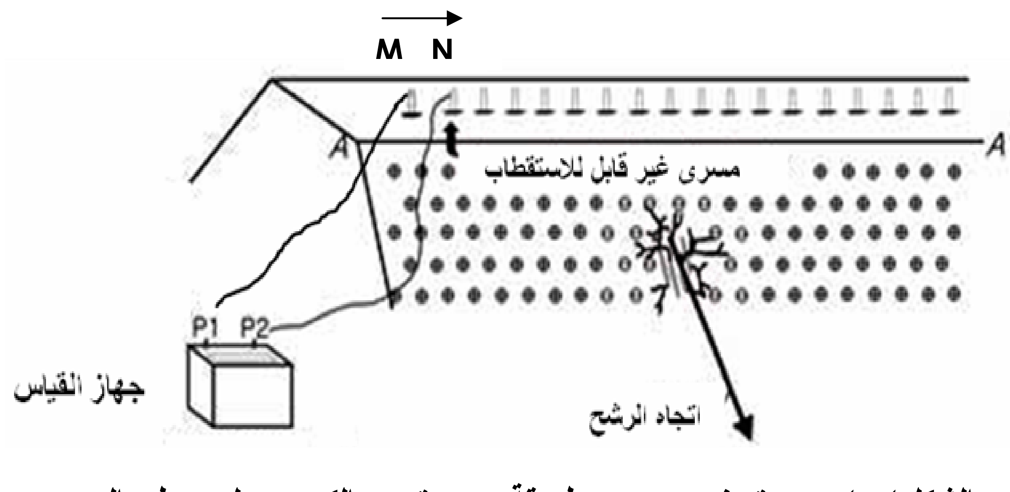
والجدير بالذكر أن كمون استقطاب مساري الكمون يجب إلا يزيد عن ٥mv ضمن زمن العمل على بروفيل طوله ١ Km. وهذه القيمة تدخل بإشارة واحدة على كامل القياسات .



الشكل ٣-٤ رسم توضيحي يبين طريقة مسح الكمون على سطح السد

٣-٢-٤ مسح تدرج الكمون الذاتي الطبيعي:

نفذ مسح تدرج الكمون على سطح جسم السد بوضع المسريين غير القابلين للاســـتقطاب على بعد ٣m من بعضهما ، و تم تحريك المسريين لبعد ثابت ٣m أيضا كما في الشكل ٤-٤. و ثم سجلت قيم فرق الكمون الذاتي الطبيعيSP. وبلغ عدد نقاط القياس ٥٦ نقطـــة قياس.



الشكل٤-٤ رسم توضيحي يبين طريقة مسح تدرج الكمون على سطح السد

٣-٤ قياسات المرحلة الثالثة في الشهر الرابع من عام ٢٠٠٨:

المنسوب مياه البحيرة ينخفض سطح ماء البحيرة مقدار ٩m عن قمة السد.

درجة حرارة مياه البحيرة : T=٢١ C°

تركيز الأملاح المنحلة في مياه البحيرة: TDS=١٠٥mg/L

نلاحظ أن المنسوب في هذا العام قد انخفض عن المنسوب المقابل للعام الماضي بسبب قلة الأمطار في شتاء هذا العام و الضخ المستمر من بحيرة السد لتوفير مياه الشرب و مياه الري للمحاصيل الزراعية.

١-٣-٤ سبور جيوكهربائية شاقولية للمقاومية الكهربائية قابلية الشحن والكمون الذاتي الطبيعي المرافق للسبر الشاقولي.

من خلال القياسات في المرحلتين السابقتين أخذت الصورة تكتمل عن الشواذ وتطوره مع الزمن ، ولمتابعة المراقبة لتطور الشواذ أعيد تنفيذ السبور السابقة نفسها مع المحافظة على نفس مواقع المساري في المرحلتين السابقتين .

٢-٣-٤ مسح الكمون الذاتي الطبيعي و تدرج الكمون الذاتي الطبيعي :

في هذه المرحلة أعيد كذلك قياسات مسح الكمون الذاتي الطبيعي و تدرج الكمون الذاتي الطبيعي ، في المواقع نفسها و الأسلوب نفسه .

الفصل الخامس

منهجية معالجة و تفسير المعطيات الحقلية

٥-١ تصحيح المعطيات الجيوكهربائية الحقلية المتأثرة بالطبيعة الهندسية للسد:

لا يصح معالجة القياسات الحقلية بفرض أن السد هو وسط ثنائي بعد متجانس لأن تبسيط الطبيعة الهندسية للسد يقود إلى نتائج غير مطابقة للحقيقة من ناحية المقاومية الحقيقية والأعماق الحقيقية الناتجة عن التفسير.
(Johansson,s.Friborg,J. Dahlin,T.and Sjödahl,P.(٢٠٠٣))

حيث أن الوجه الهوائي للسد والجزء من الوجه المائي الواقع أعلى من منسوب الماء سوف يؤدي إلى تشكل ما يسمى بتأثير الشكل الهندسي للسد . و لتحديد تأثير هذه الظاهرة على قياساتنا الجيوكهربائية المنفذة تم الاستعانة ببرنامج نمذجة القياسات الجيوكهربائية ثلاثية الأبعاد (Res ٣D modular) . بحيث وضعت موديلات جيوكهربائية تمثل ثلاث حالات :

قمة السد ترتفع عن سطح ماء البحيرة :

١- z= ٣ m

٢- z= ٦ m

٣- z= ٩ m

- بما أن تصحيحات هذه الظاهرة لا تتعلق بالطبيعة الليتولوجية للمواد الموجودة ضمن جسم السد (محسن سعيد مجلة العلوم عام١٩٩٩) فرضنا أن جسم السد و ماء البحيرة ذات مقاومية كهربائية و **قابلية الشحن** واحدة (ρ=١٠Ωm ، m=٣٪). و بفرض أن هواء الوسط المحيط ، ذو مقاومية كهربائية $١٠^{٥}$Ωm، و **قابلية شحن** معدومة ، حسبت المقاوميات الظاهرية لهذه الموديلات. كما هو مبين في الشكل(٥-١-a) و(٥-١-b) و (٥-١-c) و(٥-١-d).

– حسبت المقاوميات الكهربائية الظاهرية في حالة وسط جيوكهربائي متجانس و مكون من المادة المكونة لنواة السد . بعدها تم حساب معامل التصحيح الذي رمزنا له S في حالة المقاومية الكهربائية الظاهرية ، و SS في حالة قابلية الشحن قابلية الشحن الظاهري بحيث :

$$S = (\rho a)_w/(\rho a)_n \qquad ٥-١$$

$$SS = (ma)_w/(ma)_n \qquad ٥-٢$$ و

حيث :

$(\rho a)_w$ المقاومية الكهربائية الظاهرية في حال تأثير الشكل الهندسي للسد .

$(\rho a)_n$ المقاومية الكهربائية الظاهرية في الوسط المتجانس بدون تأثير الشكل الهندسي .

$(ma)_w$ قابلية الشحن الظاهري في حال تأثير الشكل الهندسي للسد .

$(Ma)_n$ قابلية الشحن الظاهري في الوسط المتجانس بدون تأثير الشكل الهندسي.

تم رسم تغير معامل التصحيح بدلالة AB/٢ لكل حالة من الحالات الثلاثة(الشكل٢-٥).

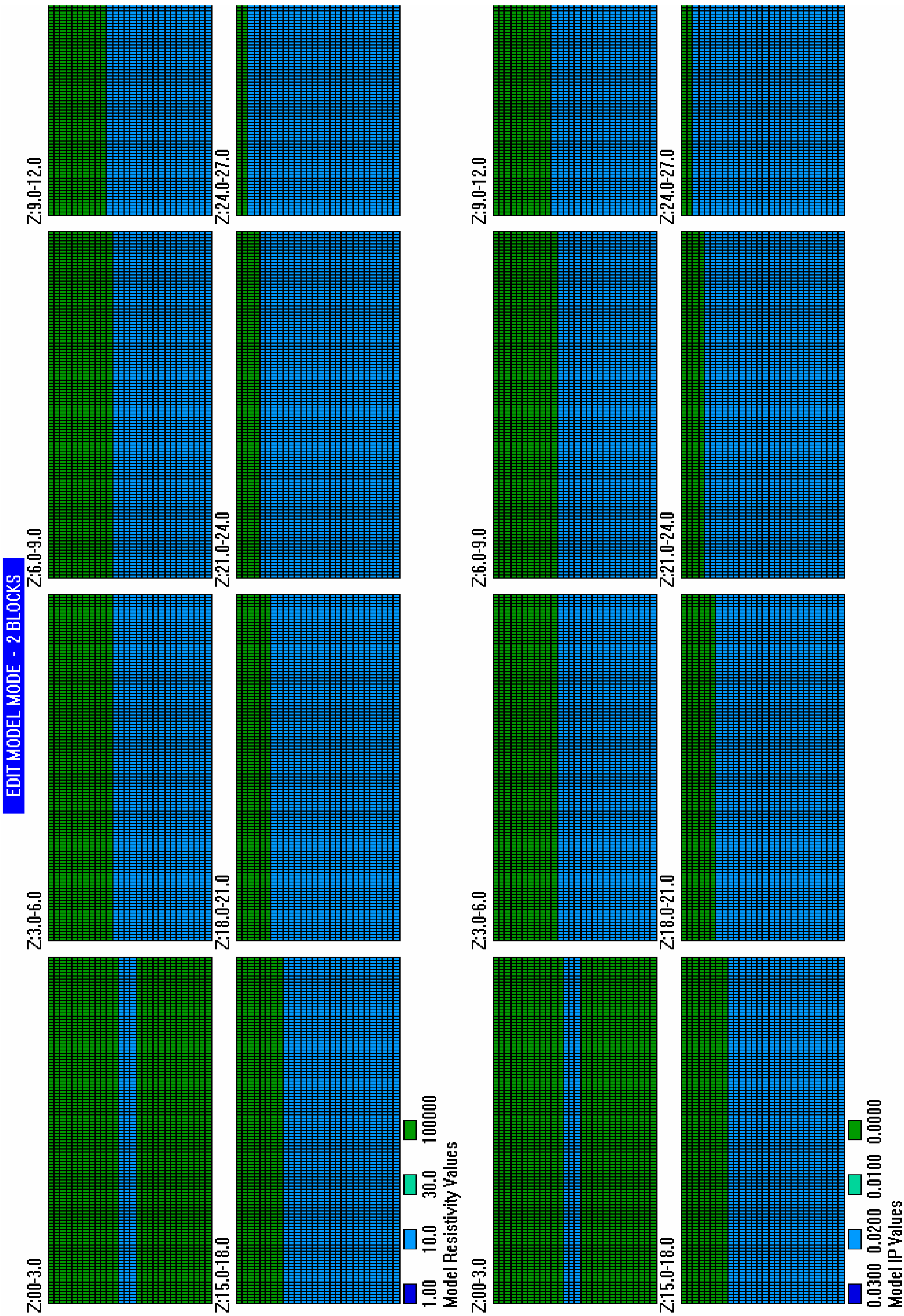
نلاحظ من منحنيات معامل تصحيح المقاومية الكهربائية الظاهرية زيادة قيمة معامل التصحيح بدء من AB/٢=٤,٥m حتي نصل لقيمة معينة من التباعد AB/٢ ، وهذه القيمة تمثل بعد مساري التيار ذات العمق الاستكشافي الواصل لسطح ماء بحيرة التخزين . يتناقص بعدها قيمة معامل التصحيح مع زيادة القيمة AB/٢ حتى يصل لقيمة أصغرية عند أكبر بعد لمساري التيار، و توافق قيمة AB/٢ الذي يصل عندها قيمة معامل تصحيح المقاومية الكهربائية الظاهرية إلى قيمة أعظمية للحالات الثلاثة ، العمق الاستكشافي الذي يصل لمنسوب مياه بحيرة التخزين . و نلاحظ كذلك على منحنيات معامل تصحيح **قابلية الشحن** الظاهري أنها تتصرف بشكل معاكس للمقاومية الكهربائية الظاهرية ، حيث أن معامل تصحيح **قابلية الشحن** الظاهري يبدأ بالتناقص حتى قيمة معينة من AB/٢ ، و هي القيمة نفسها من AB/٢ التي يبدأ عندها قيمة معامل تصحيح المقاومية الكهربائية الظاهرية بالتناقص ، بعد ذلك يتزايد معامل تصحيح **قابلية الشحن** الظاهري حتي يصل لقيمة أعظمية عند أكبر بعد لمساري التيار.

و قيمة AB/٢ عندما Z = ٣ ,   ٦ ,   ٩ m

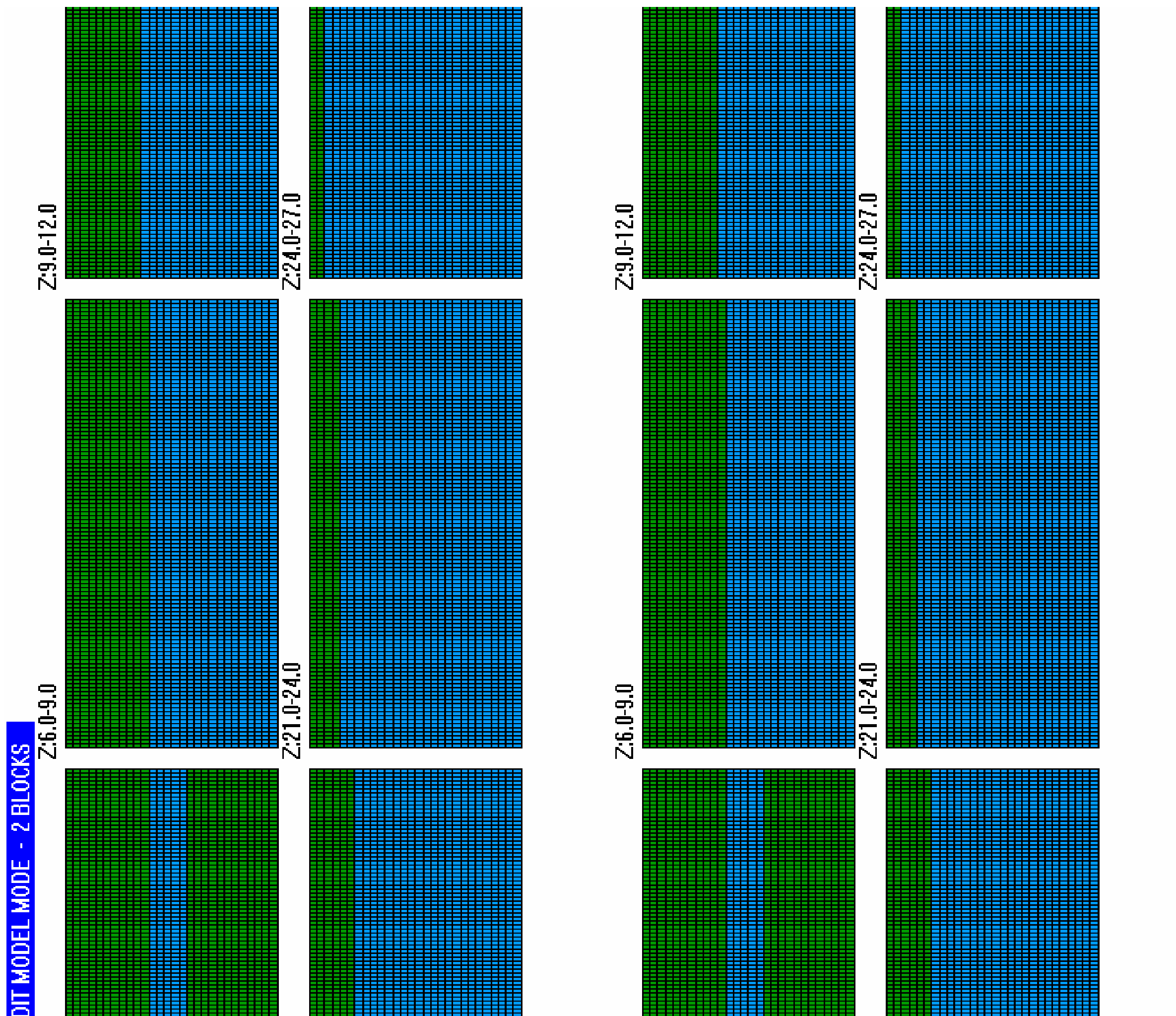
تساوي على الترتيب $AB/2=22,5,\quad 25,5\quad,\ 28,5m$.

يؤدي الشكل الهندسي للسد إلى ضغط خطوط الكمون و بالتالي ازدياد قيمة فرق الكمون المسجل ، و هذا يؤدي إلى ازدياد قيمة المقاومية الكهربائية الظاهرية المسجلة التي تتناسب طردا مع فرق الكمون المسجل ، أما بالنسبة لعامل الشحن الظاهري فيتناسب عكسا مع فرق الكمون المسجل ، لذلك فالشكل الهندسي للسد يؤدي إلى تناقص قيمة عامل الشحن الظاهري المسجل ، لذلك نلاحظ أن منحنيات تصحيح المقاومية الكهربائية الظاهرية و عامل الشحن الظاهري تكون معاكسة لبعضها البعض.

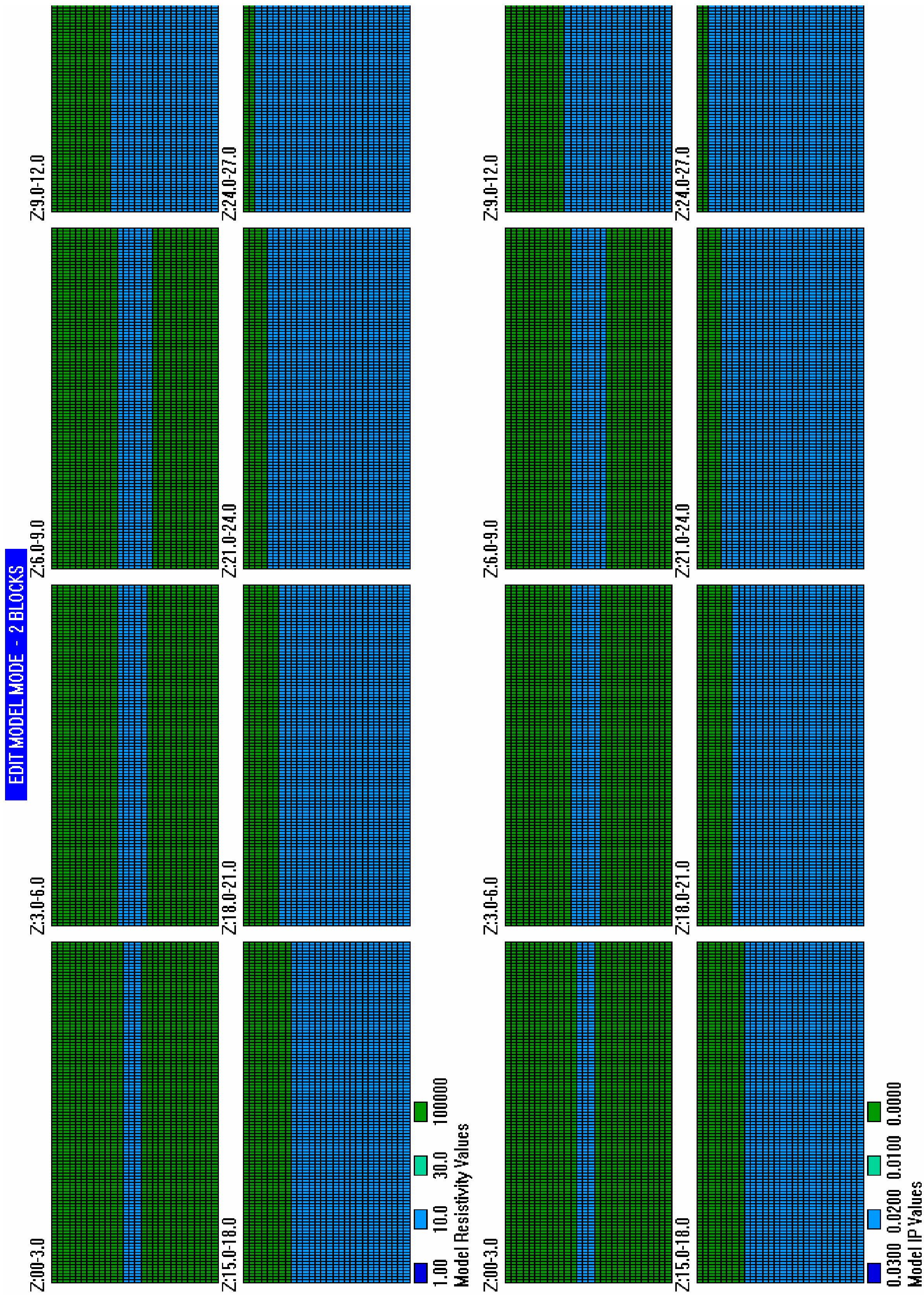
عامل الشحن الظاهري حسب العلاقة ٩-٢ يساوي إلى نسبة الكمون المتخامد مقدر بالميللي فولط إلى فرق الكمون المسجل مقدر بالفولط ، و تزايد فرق الكمون مقدرا بالفولط الناتج عن الشكل الهندسي للسد يكون ذو قيمة صغيرة و بالتالي قيمة تناقص عامل الشحن الظاهري المقاس بسبب الشكل الهندسي للسد يكون صغيرا ، و هذا ما نلاحظه على منحنيات معامل تصحيح عامل الشحن الظاهري، حيث أن جميع قيم التصحيح تكون تقريبا مساوية للواحد و بالتالي نستنتج أن تأثير الشكل الهندسي للسد على نتائج عامل الشحن خفيف بحيث يمكن إهماله .



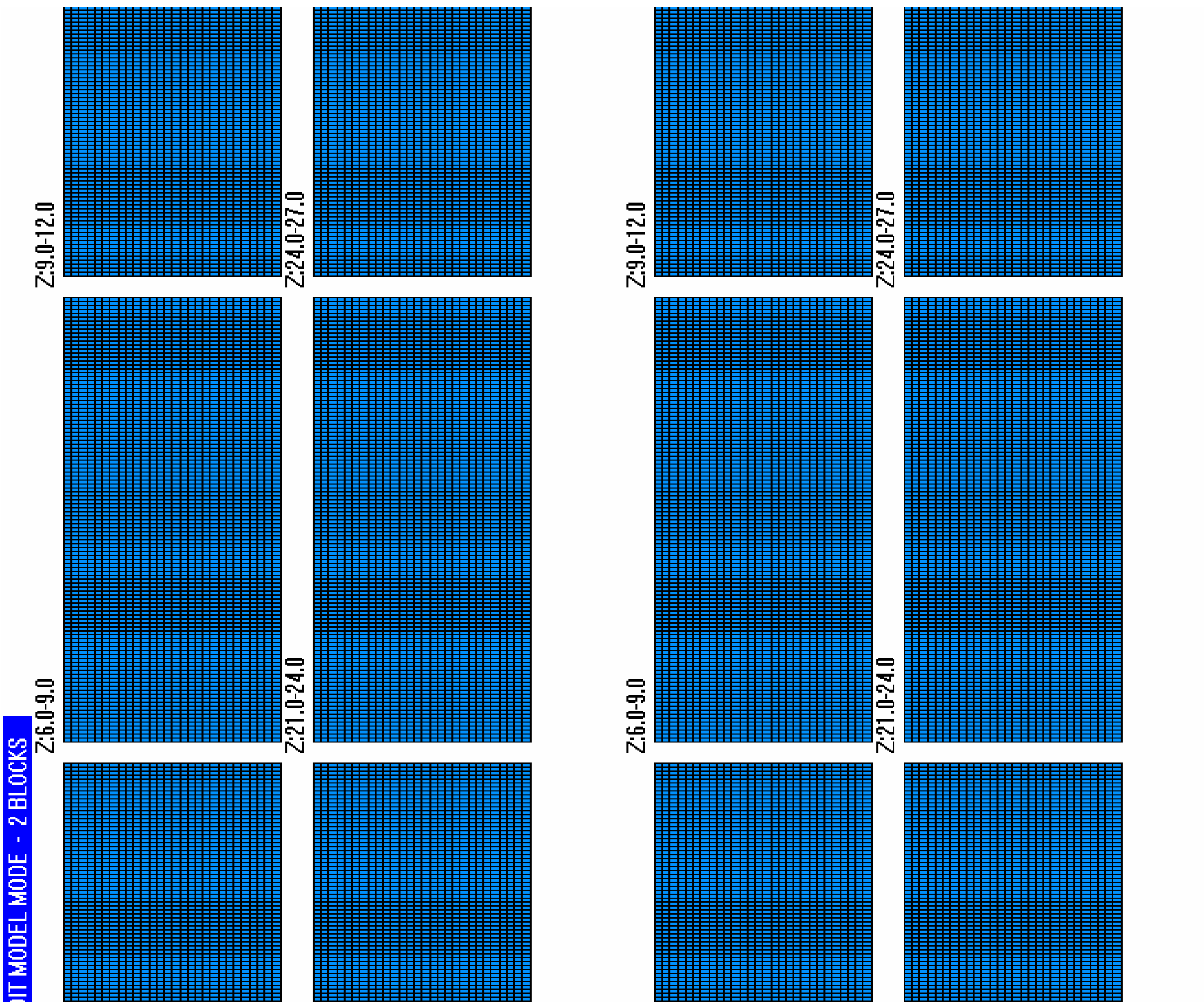
شكل a-١-٥ شرائح جيوكهربائية ثنائية البعد و فق المحورين (x,y) متغيرة مع العمق Z و ذلك في حالة عمق منسوب البحيرة ٣m عن قمة السد



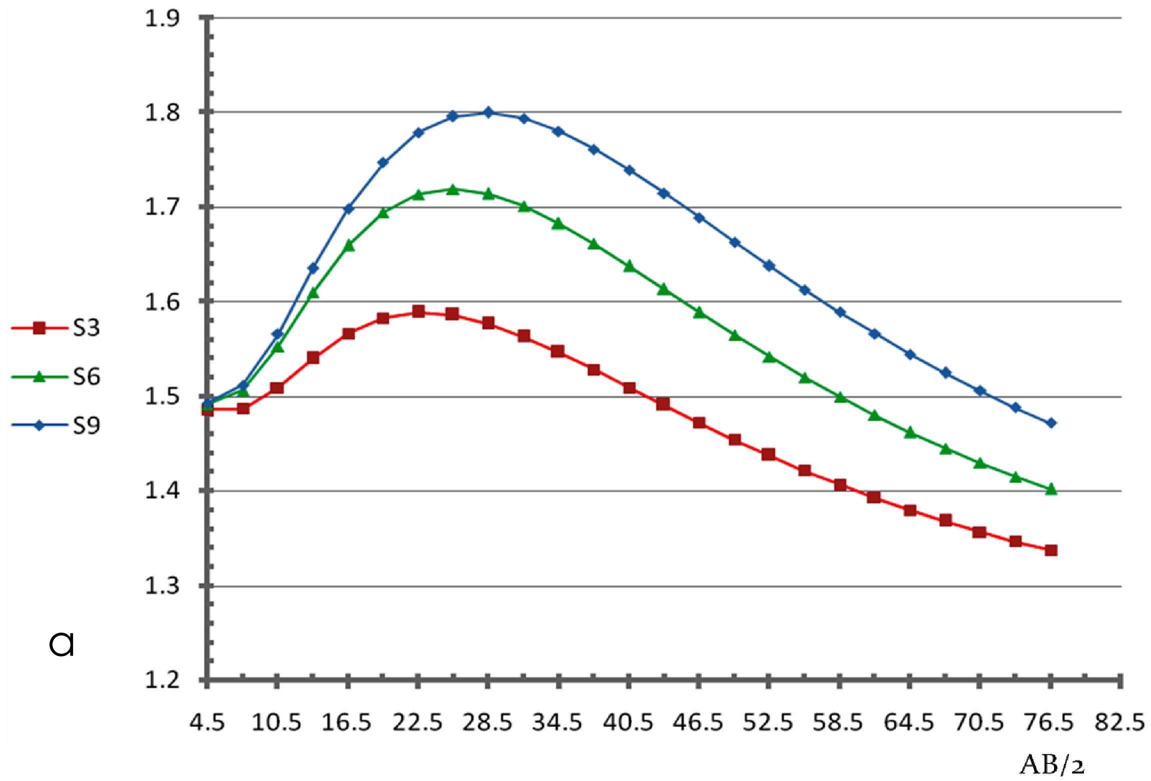
شكل b-١-٥ شرائح جيوكهربائية ثنائية البعد و فق المحورين (x,y) متغيرة مع العمق Z و ذلك في حالة عمق منسوب البحيرة ٦m عن قمة السد

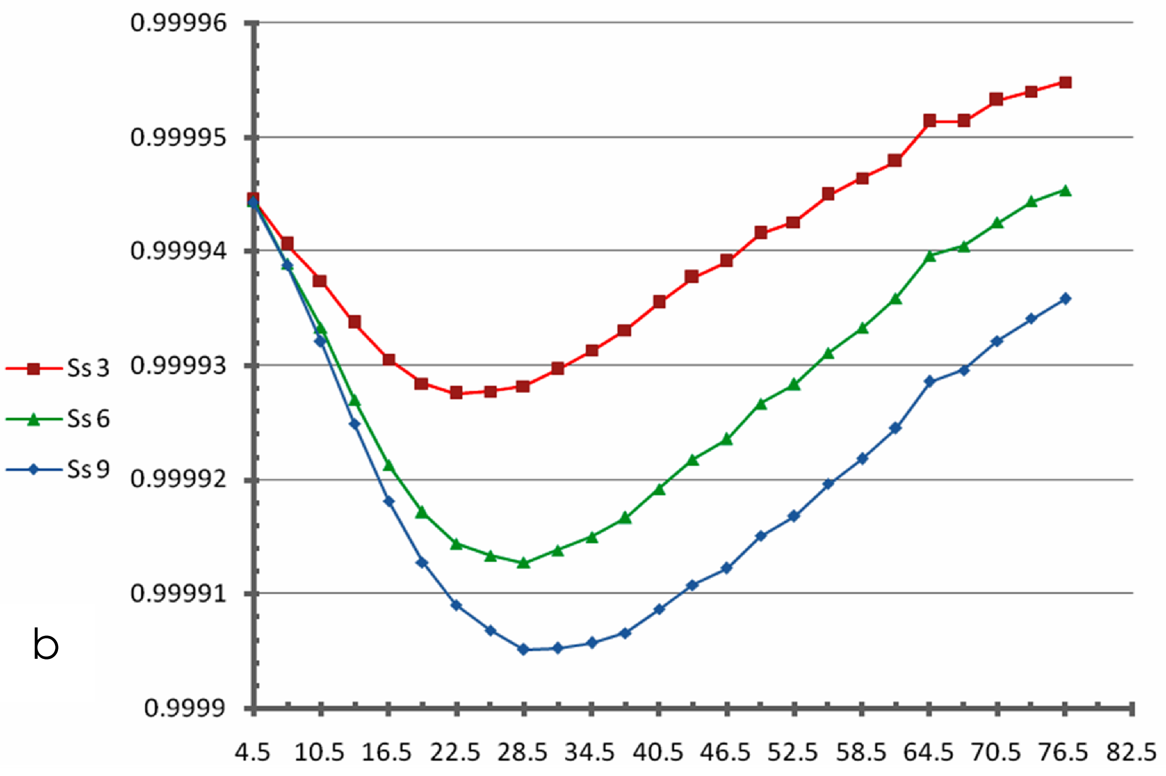


شكل c-١-٥ شرائح جيوكهربائية ثنائية البعد و فق المحورين (x,y) متغيرة مع العمق Z و ذلك في حالة عمق منسوب البحيرة ٩m عن قمة السد



الشكل c-١-٥ شرائح جيوكهربائية ثنائية البعد و فق المحورين (x,y) متغيرة مع العمق Z و ذلك في حالة موديل الوسط المتجانس





شكل ٢-٥ منحنيات تغير عوامل التصحيح بدلالة AB/٢ لكل من الحالات الثلاثة.

a- المقاومية الكهربائية

b- قابلية الشحن

٥-٢ تفسير المعطيات الجيوكهربائية وبرامج التفسير المستخدمة:

تم اعتماد برنامج حاسوبي يدعي Res ٢D inv لتفسير و نمذجة المقاومية الكهربائية الظاهرية و قابلية الشحن الظاهري .

يستخدم هذا البرنامج كطريقة إحصائية وتحليلية متطورة لتحسين المعطيات وتعتبر بحد ذاتها طريقة للتفسير (inversion) النمذجي و تقييم المعطيات الجيوكهربائية . و الهدف الرئيسي من البرنامج هو أتمتة التفسير للمعطيات الناتجة عن الظروف الطبيعية للمنطقة المدروسة . أي وضع مقطع مقاومية مفسر يعكس الوضع الجيولوجي للسد .

٥-٢-١ تفسير المقاومية الكهربائية الظاهرية:

المراحل الأساسية لتفسير مقطع المقاومية الكهربائية الظاهرية التي يقوم بها البرنامج و المعادلات المستخدمة هي:

a. ليكن لدينا مقطع مقاومية كهربائية مقاس و هو عبارة عن قيم المقاوميات المقاسة في الحقل ممثلة وفق محوري إحداثيات أفقية (المسافة) و عمودية (العمق) . يقوم البرنامج بحساب مقطع مقاوميه و فق علاقات معينة و بالتالي يتشكل لدينا مقطع مقاومية كهربائية محسوب m . و هذا المقطع هو المقطع الذي يحقق أكبر تشابه ممكن مع المقطع المقاس ، و لتبسيط الفكرة إذا ما نظرنا لمنحنيات التفسير ثنائية الطبقة (منحنيات الزرافة)، فهي عبارة عن منحنيات محسوبة لتتابع طبقي مفروض مسبقا،فإيجاد المقطع المحسوب الذي يشابه المقطع المقاس بواسطة هذا البرنامج يشابه مطابقة منحني مقاومية كهربائي مقاس ثنائي الطبقة مع واحد من هذه المنحنيات النموذجية ***(Constable,S .et al.(١٩٨٧))***.

b. تطبق عملية تضخيم بواسطة بارامترات معينة (مضاعفات لاغرانج: μ، λ) و عمليات تصغير رياضية و ذلك من أجل تصغير الفرق (عدم التطابق data misfit) بين المقطع المقاس و المحسوب ، و المنحني المحسوب هو منحني التفسير (منحنيات لطبقتين ومنحنيات الطبقات الثلاثية و الأربعة طبقات)***(Constable,S .et al.(١٩٨٧))*** .

$$\mathbf{m}_{k+1}(\mu) = \left[\mu \boldsymbol{\partial}^T \boldsymbol{\partial} + (\mathbf{W}\mathbf{J}_k)^T \mathbf{W}\mathbf{J}_k\right]^{-1} (\mathbf{W}\mathbf{J}_k)^T \mathbf{W}\hat{\mathbf{d}}_k \qquad ٥-٣$$

حيث μ هو معامل لاغرانج . ∂ مصفوفة جميع عناصرها أصفار عدا القطر الرئيسي فيحوي العدد واحد . W مصفوفة قطرية و تسمى مصفوفة الفلترة و الحاوية على

الانحرافات المعيارية لقيم المقاومية الكهربائية الظاهرية لكل نقطة قياس ، و تدخل هذه المصفوفة في المعادلة السابقة عند القيام بقياس المقاومية الكهربائية في نفس نقطة القياس لأكثر من مرة من أجل زيادة دقة النتائج ثم حساب الإنحراف المعياري لقياسات المقاومية الكهربائية الظاهرية هذه . J مصفوفة جاكوبيان. d٨ هي عبارة عن مصفوفة المقاوميات الكهربائية المحسوبة.

c. تطبيق العمليات الرياضية هذه لعدد من التكرارات K (K=١ التكرار الأول K=٢ التكرار الثاني في المعادلة الموجودة في البند الثاني) بحيث نحصل على مقطع مقاومية كهربائي مفسر نهائي ذو عدم تطابق أصغر ما يمكن ***(Constable,S .et .al.(١٩٨٧))***

d. يجب أن يكون المقطع النهائي المعالج محققا للموازنة التالية :

إن عدم التطابق(data misfit) بين المقاوميات الكهربائية المقاسه في الحقل و المقاوميات الكهربائية الناتجة عن هذا التفسير يكون أصغر ما يمكن *(Constable,S .et .al .(١٩٨٧))*

يجب أن يكون ١= (*data misfit*) في التتابع الأخير قبل إيقاف عملية التفسير الرياضية.

يجب في نهاية عملية التفسير أن نحصل على قيمة صغيرة لعدم التطابق هذا بحيث يعطي مقطع مقاومية مفسر متطابق مع معرفتنا السابقة للوضع الجيولوجي العام للمنطقة، و عدم التطابق (*data misfit*) الصغير جدا ليس معيارا على حصولنا على مقطع مقاومية كهربائية مفسر جيد و قريب من الواقع ***(Constable,S .et al .(١٩٨٧))*** .

يعبر عن معيار عدم التطابق (*data misfit*) بواحدة من العلاقتــين ***(Constable,S .et al (١٩٨٧))***:

$$X^2 = \sum_{i=1}^{m} \frac{(di\ measured - di\ calculated)^2}{\sigma i^2} \qquad ٥-٤$$

$$RMS = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} \frac{(di\ measured - di\ calculated)^2}{M\ \sigma i^2}} = \left(\frac{X^2}{M}\right)^{1/2} \qquad ٥-٥$$

di measured تمثل لوغاريتم المقاومية الكهربائية الظاهرية أو المقاومية الكهربائية الظاهرية .

di calculated تمثل لوغاريتم المقاومية الكهربائية المحسوبة أو المقاومية الكهربائية المحسوبة .

M هو عدد المعطيات الكلي . σ تمثل الانحراف المعياري للمقاومية الكهربائية الظاهرية المقيسة .

تصبح معادلة $X^٢$ (٤–٥) في حال عدم وجود إنحراف معياري للقيم المسجلة للمقاومية الكهربائية الظاهرية ***(Constable,S .et al .(١٩٨٧))***:

$$X^2 = \sum_{i=1}^{m} (di\ measured - di\ calculated\ )^2$$ ٥-٦

و تتغير تبعا لها المعادلة ٥–٥ المعبرة عن عدم التطابق RMS .

وبما أنه يوجد لدينا معيارين لعدم التطابق هذا ، نميز نوعين بين نمذجة التفسير :

نمذجة التفسير الناعم و التي تستخدم معيار عدم التطابق RMS من أجل تفسير المقاومية الكهربائية الظاهرية ، و نمذجة التفسير الخشن التي تستخدم معيار عدم التطابق $X^٢$ من أجل تفسير المقاومية الكهربائية الظاهرية .

٥–٢–٢ تفسير معطيات قابلية الشحن:

اعتمد سيغل و كوماروف ***(G.O.Seigel - V.A.Komarov (١٩٥٩))*** على أن تأثير الاستقطاب التحريضي هو تخفيض الناقلية الفعالة للوسط المتجانس ، أي الناقلية الفعالة σ تتناقص لتصبح (σ–mσ) ، و تسمى هذه الناقلية بالناقلية المتغيرة ، لأن قيمتها تغيرت عن الناقلية الأصلية (σ)،m قابلية الشحن ، و هذا المفهوم يكون في وسط متجانس . و قد عمم ذلك ليشمل وسطا غير متجانس مكونا من عدد من الطبقات بحيث: أن ناقلية كل طبقة σ_i ، i=١،٢،٣........n وقابلية شحن كل طبقة m_i ، i=١،٢،٣........n: و n عدد الطبقات .

نقوم بحساب العلاقة التالية :

$$m_a(r_j) = \frac{\rho_a^*(r_j) - \rho_a(r_j)}{\rho_a^*(r_j)} \cdot 100\%,$$

٥-٧

حيث : AB_{max} ➔ $j=١$

ρa^*: المقاومية الظاهرية المحسوبة بدلالة قابلية الشحن من أجل موديل ذو مقاومة ظاهرية ρi .

طبقة $i=١$ ➔ n

ρi ، m_i : مقاومية و قابلية شحن الطبقة n :

$$\rho_i^* = \frac{\rho_i}{1-m_i}$$

٥-٨

يطبق نفس المبدأ من حيث حساب الفرق بين قابلية الشحن الظاهري و المحسوب و تصغير عامل عدم التطابق بينهما error Abs , RMS . و لنمذجة الاستقطاب التحريضي معامل تخميد خاص بها(في برنامج المعاملة: إذا كانت قيمة عامل التخميد الخاص بالاستقطاب التحريضي أصغر من الواحد ، تستخدم للاستقطاب التحريضي فقط . أما إذا اخترنا عامل التخميد الخاص بالاستقطاب التحريضي مساويا للواحد فيتم استخدام عامل التخميد للاستقطاب التحريضي و المقاومية الكهربائية معا).

تتأثر قيم قابلية الشحن المقاسة بشكل كبير بالتشويش الخارجي الطبيعي و الصنعي بالمقارنة مع تأثر المقاومية الكهربائية المقاسة بهذه التشويشات ، و يكون تأثير هذا التشويش على شكل قيم قابلية شحن لنقاط قياس شاذه كبيرة جدا بالنسبة لكامل البروفيل المقاس عليه ، أو على شكل قيم سالبه لقابلية الشحن .

٣-٢-٥ أنواع نمذجة التفسير

a-٣-٢-٥ نموذج L٢ الناعم :

يعمل هذا النموذج (L٢ smoothness constrained,RMS) على تصغير مجموع المربعات لتغيرات المقاومية (مربعات الفروق في قيم المقاومية المقيسة و المحسوبة، العلاقة ٥-٥) الحاصلة في نموذج (موديل) المقاومية الكهربائية و هذه الطريقة هي الأكثر استخداما .

و إن النموذج (الموديل) النهائي الذي نحصل عليه بهذه الطريقة يحوي على تغيرات ناعمة بسيطة لقيم المقاومية ممتدة على نطاق صغير جدا .

تستخدم هذه الطريقة في المناطق حيث المقاوميات الكهربائية التحت السطحية تتغير بشكل ناعم و بسيط ، مثال ذلك : حالة دراسة حدود المواد الكيميائية المنتشرة في باطن الأرض و تغير التدرج الحبي للبنيات التحت سطحية . و بما أن طريقة جذر المربعات الأصغرية RMS تستخدم جذر عدم تطابق المعطيات المقيسة و المحسوبة ، **فإن هذه الطريقة تميل لأن تتأثر بشكل كبير بالنقاط ذات المعطيات السيئة و المشوشة .**

وفي حال كانت المقاوميات الكهربائية الحقيقية التحت السطحية تتألف من عدة نطاقات مفصولة بحدود حادة و قوية ، فإن مقطع المقاومية الكهربائية الذي نحصل عليه من هذه الطريقة لا يعكس البنية المدروسة بشكل واقعي ***(Christiansen,A,V. et al .(٢٠٠٤)*** .

b-٣-٢-٥ نموذج L١ الخشن:

يعمل هذه النوع من النمذجة (L١ Blocky Method X٢) على تصغير المجموع للقيم المطلقة لتغيرات المقاومية الكهربائية (المقاسه و المحسوبة) ، و تستخدم هذه الطريقة في حالة كون المقاوميات الكهربائية متغيرة بشكل كبير و تفصل بفواصل حادة ، و هذا النموذج (L١) يستخدم في حالة دراسة البنيات الجيولوجية التحت سطحية المكونة من صخور متباينة التركيب مثل حالة وجود صخر بازلت طازج و بازلت مجوى يحوي على كثير من نواتج التعرية. لذلك هذه الطريقة تنتج موديل يحوي على مناطق ثابتة و مفصولة بفواصل حادة . و استخدام النمذجة الناعمة في هذه الحالات يؤدي إلى طمس الشواذ أحيانا و يكون غير نافع ***(Christiansen,A,V. et al .(٢٠٠٤)*** .

تصغر هذه الطريقة القيمة المطلقة للفرق بين المعطيات المقيسة و المحسوبة (أنظر العلاقة ٤-٥) و بالتالي تكون أقل تأثرا بالمعطيات المشوشة من نمذجة التفسير الناعم (*Christiansen,A,V. et al .(٢٠٠٤)*) **على الرغم من أن نمذجة التفسير الخشن تعطي عدم تطابق $X^٢$ ذو قيمة أكبر من عدم التطابق RMS المستخدم في نمذجة التفسير الناعمة** ***(Loke, M.H. (٢٠٠٤))***. و لكن استخدام النمذجة الخشنة أيضا لدراسة بنية تحت سطحية تتمتع بتدرج ناعم لبنيتها قد يؤدي لتشكل مقطع مفسر غير مطابق للواقع على الرغم من كونها قليلة التأثر بالمعطيات المشوشة ***(Christiansen,A,V. et al .(٢٠٠٤))*** .

٣-٥ حساب التغيرات النسبية :

تهدف دراسة التغيرات النسبية إلى مراقبة تغيرات المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن مع الزمن ضمن جسم السد . بعد تفسير معطيات المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن، يمكن حساب التغير النسبي لهما بين أي زمنين t١ و t٢ ، لنفس نقطة القياس ، بتطبيق العلاقة التالية **((Sjodahl,P. (٢٠٠٦)**:

$$RV\ \rho_{٢-١}=[١٠٠*(\rho٢-\rho١)/\rho١]\ \% \qquad ٥-٩$$

$$RV\ m_{٢-١}=[١٠٠*(m٢-m١)/m١]\ \% \qquad ٥-١٠$$

$RV\ \rho_{٢-١}$ قيمة التغير النسبي للمقاومية الكهربائية المفسرة بين زمنين t١,t٢

$\rho_{t٢}$ المقاومية الكهربائية المفسرة في الزمن الثاني t٢

$\rho_{t١}$ المقاومية الكهربائية المفسرة في الزمن الأول t١

$RV\ m_{٢-١}$ قيمة التغير النسبي لقابلية الشحن المفسرة بين زمنين t١,t٢

$m_{t٢}$ قابلية الشحن المفسرة في الزمن الثاني t٢

$m_{t١}$ قابلية الشحن المفسرة في الزمن الأول t١

التغيرات النسبية relative variations هي أداة إحصائية بسيطة جدا و مقطع التغيرات النسبية يشكل نموذجاً عاماً لفحص التغيرات النسبية (مناطق الشواذات ذات التغيرات النسبية العالية جدا أو المنخفضة جدا)، و تعتبر مفيدة في حالة إجراء دراسة إحصائية سريعة و مختصرة للموديل الكامل، ثم إجراء دراسات دقيقة على القطاعات الشاذة المثيرة للاهتمام فيهما **Johansson,s.Friborg,J. Dahlin,T.and Sjödahl,P (٢٠٠٣))** .

٥-٤ معادلات حساب الكمون الذاتي الطبيعي بالاعتماد على الأبعاد الهندسية للشواذ:

يعد حساب عمق النطاقات الراشحة و الخامات المدفونة من معطيـــات الكمـــون الـــذاتي الطبيعي المقاس من أهم المشاكل التي تواجه أساليب التنقيب الجيوكهربائية ، و قد وضــــع العديد من المعادلات الرياضية لحساب الكمون الذاتي الطبيعي على سطح الأرض عنـــدما يكون الشكل الهندسي المسبب للشواذ الكموني معروف ، و عزم ثنائي القطب الناتج عـــن

هذا الشواذ ذات قيمة ثابتة . طبقت معادلات حساب الكمون الذاتي بكثرة عند التنقيب عن الخامات المعدنية فقط و لم تطبق بعد في حالـــة دراســة أجــسام الــسدود و مراقبتهــا جيوكهربائيا، لذلك حاولنا الاستفادة منها في دراستنا لجسم سد حبران .

وضع ***(Bhattacharya and Roy.(١٩٨١))*** علاقة لحساب الكمون الذاتي الطبيعي الناتجة عن أجسام طبيعية مشابهة للأسطوانة الأفقية و العمودية و الكرة و تعطى بالعلاقة التالية:

$$Vz(x,z,\theta,q) = Kc\frac{xi\ cos\theta + z\ sin\ \theta}{(xi^2 + z^2)^q} \qquad i = 1,2,\dots.N$$ ٥-١١

Z عمق الجسم كما هو مبين بالشكل ٣-٥ .

Θ زاوية الاستقطابية (**Polaraization Angle**) و هي الزاوية الكائنة بين شعاع الاستقطابية و الأفق.

q عامل الشكل الهندسي للجسم المدفون بحيث:

q=٠,٥ من أجل أسطوانة عمودية ذات حد سفلي لا نهائي .

q=١ من أجل أسطوانة أفقية .

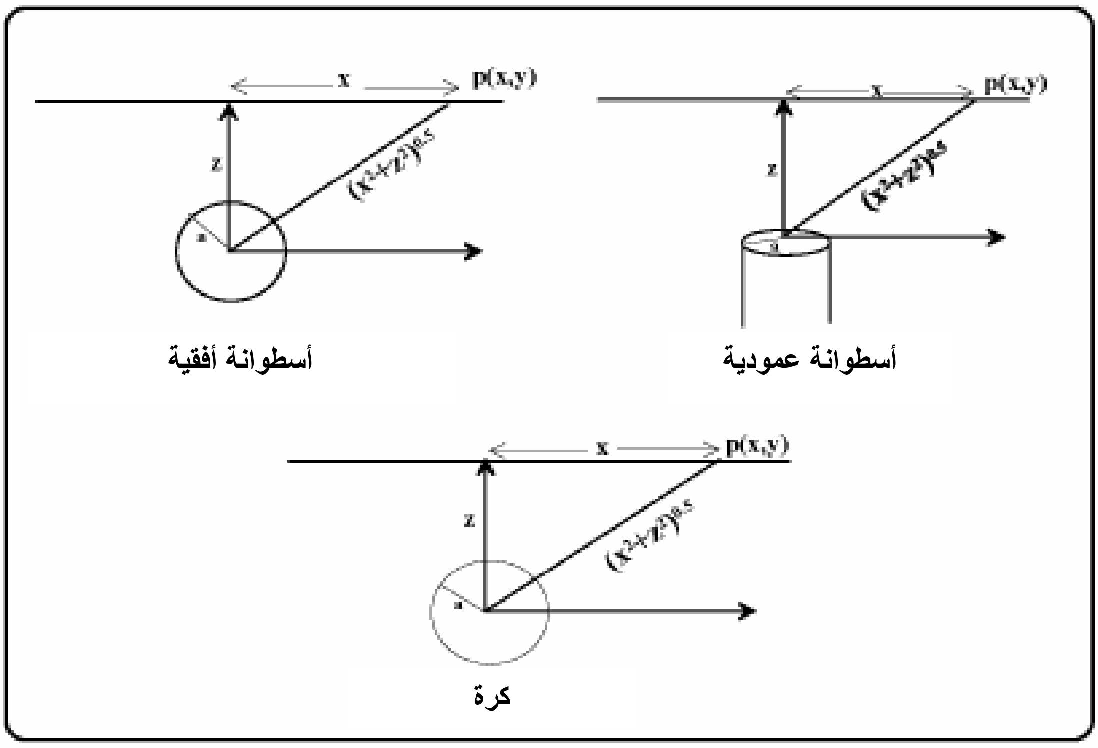
q=١,٥ من أجل الكرة .

و نستنتج علاقة Kc من المعادلة ١١-٥ عن مبدأ الإحداثيات أي بتعويض X بالقيمة صفر ***(El-Sayed,M et al .(٢٠٠٣))***:

٥-١٢

$$Kc = \frac{V(0)\ Z^{2q-1}}{sin\ \theta} \qquad sin\theta \neq 0$$

V٠ هي قيمة الكمون الذاتي الطبيعي عند مبدأ الإحداثيات و نستنتج قيمتها من منحني الكمون الذاتي الطبيعي المقاس حقليا.



الشكل ٣-٥ الأسطوانة العمودية و الأفقية و الكرة و العوامل الهندسية المتعلقة بكل منها

نحصل على علاقة زاوية الاستقطاب Θ بجعل المعادلة ٥-١١ مساوية للصفر
(El-Sayed,M et al .(٢٠٠٣)) :

٥-١٣

$$tg\,\theta = -\frac{xo}{zi}$$

X. هي المسافة التي يقطع عندها منحني الكمون الذاتي الطبيعي محور X و نستنتج قيمتها من منحني الكمون الذاتي الطبيعي المقاس .

و في حال وجود أكثر من جسم أفقي يعطي كل منها شواذ كمون معين فإن النتيجة النهائية لشواذ الكمون الذاتي الطبيعي المحسوب يساوي إلى المجموع الجبري لشواذات الكمون الذاتي الطبيعي المحسوبة الناتجة عن الأجسام المختلفة ***(El-Sayed,M et al .(٢٠٠٣))***.

و تفيدنا معادلات الكمون الذاتي الطبيعي المحسوبة السابقة في :

- حساب كمون ذاتي طبيعي و ذلك بالاعتماد على موديل مفروض ذو أبعاد هندسية معينة ، و مقارنة الكمون المحسوب مع الكمون الذاتي الطبيعي المقاس للحصول على أفضل تطابق بين منحنيي الكمون الطبيعي المحسوب و المقاس بتغيير البارمترات الهندسية

للشاذ المستخدمة في معادلات الحساب ، و بالتالي التأكد من الأبعاد الهندسية للشاذ المستنتج في مقاطع المقاومية الكهربائية المفسرة والاستقطاب التحريضي و غيرها من الدراسات حول الشاذ.

- حساب عمق الجسم الشاذ في حال معرفتنا الشكل الهندسي للجسم في حال عدم وجود دراسات أخرى تعطي معلومات عن عمق الشاذ (مثل مقاطع مقاومية ، أو آبار سبر)

الفصل السادس

تفسير نتائج القياسات الجيوكهربائية المنفذة

٦-١ تفسير نتائج قياسات الشهر الخامس من العام ٢٠٠٧ :

كان منسوب البحيرة خلال هذه الفترة ينخفض ٣m عن قمة السد .

درجة حرارة مياه البحيرة : T=٢٢ C°

تركيز الأملاح المنحلة: TDS=١٢٤ mg\L

٦-١-١ تفسير مقطع المقاومية الكهربائية الظاهرية و قابلية الشحن الظاهرية لقيسات الشهر الخامس:

بعد القيام بتصحيح الطبيعة الهندسية لجسم السد المؤثرة على المقاومية الكهربائية الظاهرية تم تفسير نتائج المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن الظاهرية بنمذجة التفسير الناعم و نمذجة التفسير الخشن لمعرفة درجة التشويش المؤثرة على مقاطع المقاومية

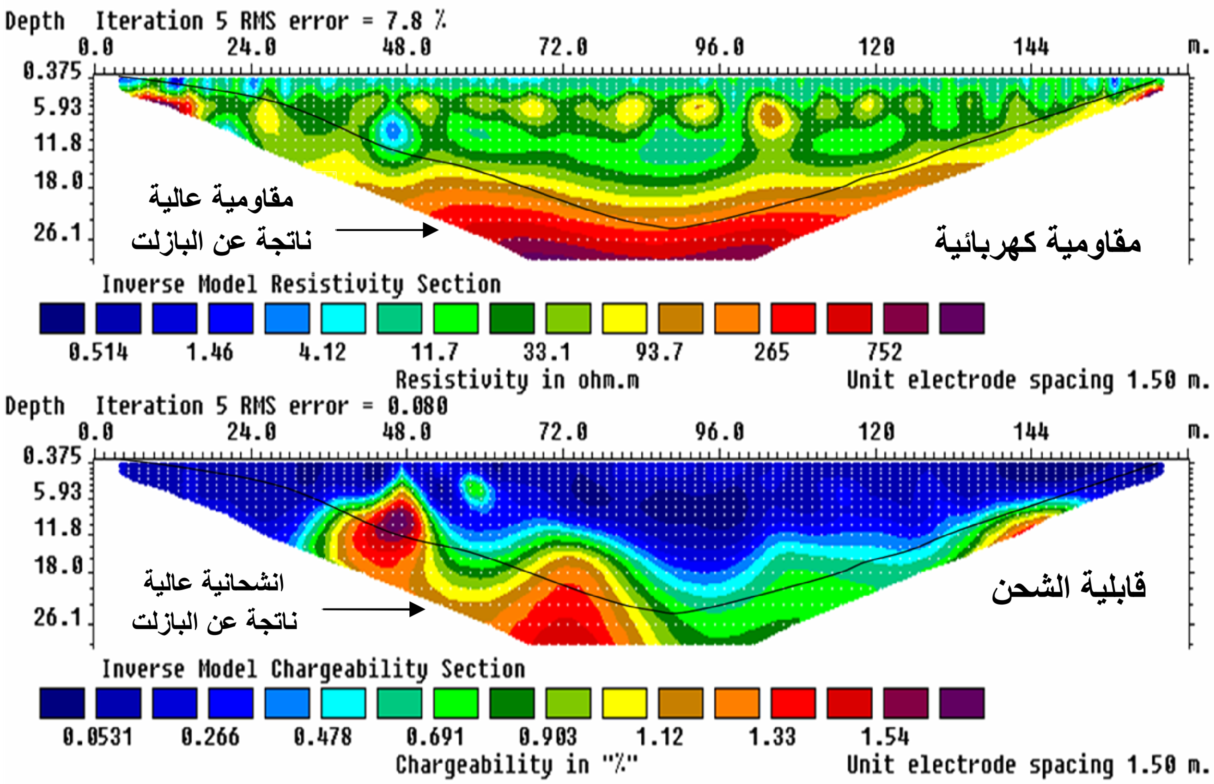
الكهربائية و قابلية الشحن ، كما في الشكل ٦-١ و ٦-٢ ، و قد مثلنا على الشكلين حد السد السفلي بخط أسود، كما هو وارد في مخططات وزارة الري.

نلاحظ من مقارنة المقاطع الجيوكهربائية المفسرة بطريقتي النمذجة الناعمة و الخشنة أنها متشابهة تقريبا ، و الفرق الوحيد هنا أن المقطع الجيوكهربائي الناتج عن نمذجة التفسير الخشن يبدي مظهرا خشنا فقط . بشكل عام مقاطع المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن المفسرة بكلتا الطريقتين متشابهة ، و بالتالي يمكن أن نحكم أن هذه المقاطع المفسرة قليلة التأثر بأية تشويش خارجي ، و بالتالي لا مانع من استخدام نمذجة التفسير الناعم هنا بما أنها تعطي مقطع جيوكهربائي قليل التأثر بالتشويش الخارجي ، بالإضافة إلى أن استخدام نمذجة التفسير الناعم لتفسير النتائج الجيوكهربائية المقاسة على جسم السد مناسب أكثر نظرا لأن التغير في البنية الغضارية المكونة لجسم السد يكون تدريجي و ناعم .

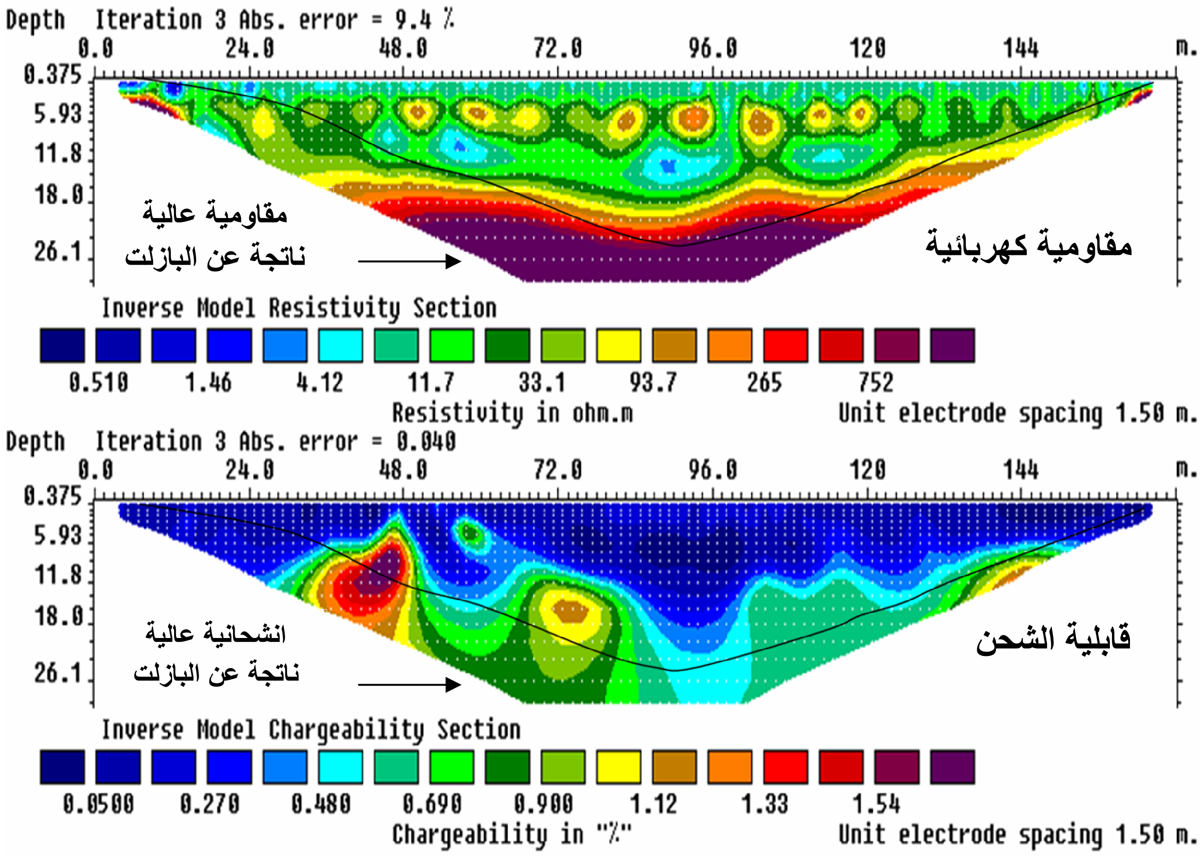
نلاحظ على مقطع المقاومية الكهربائية المفسر وجود شاذ منخفض المقاومية الكهربابية من مرتبة ١٠Ωm و مادون و هذا الشاذ يكون ذو شكل أفقي يمتد من المسافة x=٤٨m و حتى المسافة x=١٢٠ m و على العمق z=١٢→١٥ m و هذا يدعم افتراضنا الأولي بأن الشاذ ذو شكل أفقي إن وجد في جسم السد . و لكن هذا الشاذ الأفقي يكون ذو حجم أعظمي مشكلا شكل شبة كروي عند المسافة x=٩٠m و على العمق z=١٥ m تقريبا . نلاحظ أعلى هذا الشاذ طبقة تصل مقاوميتها الكهربائية إلى ٥٠ Ωm. و تمتد على طول السد ، وحسب نتائج دراسات وزارة الري عل جسم السد*(منصوري،ع.(٢٠٠٥))* تبين أن الطبقة على هذا العمق تحوي على ١٠-٢٠٪ حصى و رمال و هذا ما يفسر مقاوميتها الكهربائية العالية . أما على عمق z=٢٤m و ما فوق ترتفع المقاومية الكهربائية حتى تصل لقيمة ٧٠٠Ωm و قد تزيد عن ذلك وهذه المقاومية الكهربائية هي مقاومية الصخور البازلتية الكهربائية أسفل السد. و من المعروف أن منطقة السد مكونة من صخور بازلتية رباعية طازجة و مشققة و بالتالي يمكن أن تصل مقاوميتها الكهربائية إلى عدة آلاف من الأوم متر.

بالنسبة لقابلية الشحن المفسرة فنلاحظ على المسافة التي تقع بين X=٧٢-٩٦m و العمق Z=٩-١٠m تقريبا منطقة ذات قابلية شحن منخفضة جدا و تقابل على مقطع المقاومية الكهربائية المفسر الشاذ المنخفض المقاومية الكهربائية ، و تفسير هذا أن هذه المنطقة ذات رطوبة عالية جدا تصل إلى ٤٠% حسب نتائج آبار السبور المنفذه من قبل الوحدة المهنية لكلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق على جسم السد ، و بالتالي أدت الرطوبة العالية جدا إلى انخفاض قابلية شحن هذا القطاع، إضافة إلى انخفاض مقاوميته الكهربائية.

نلاحظ على مقاطع قابلية الشحن المفسرة بطريقتي النمذجة الناعمة و الخشنة ذات قابلية شحن مرتفعة عند X=٤٨→٧٢m و تقع على الحد الفاصل بين النواة الغضارية و البازلت أسفل هذه النواة الغضارية، و يتوقع أنها تكون ناتجة عن البازلت ذو الانشحانية العالية أسفل النواة، بحيث أن تأثير البازلت ذو قابلية الشحن العالية يؤثر بشكل طاغي على مقاطع قابلية الشحن المفسرة .



الشكل١-٦ مقاطع المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن المفسرة باستخدام نمذجة التفسير الناعم



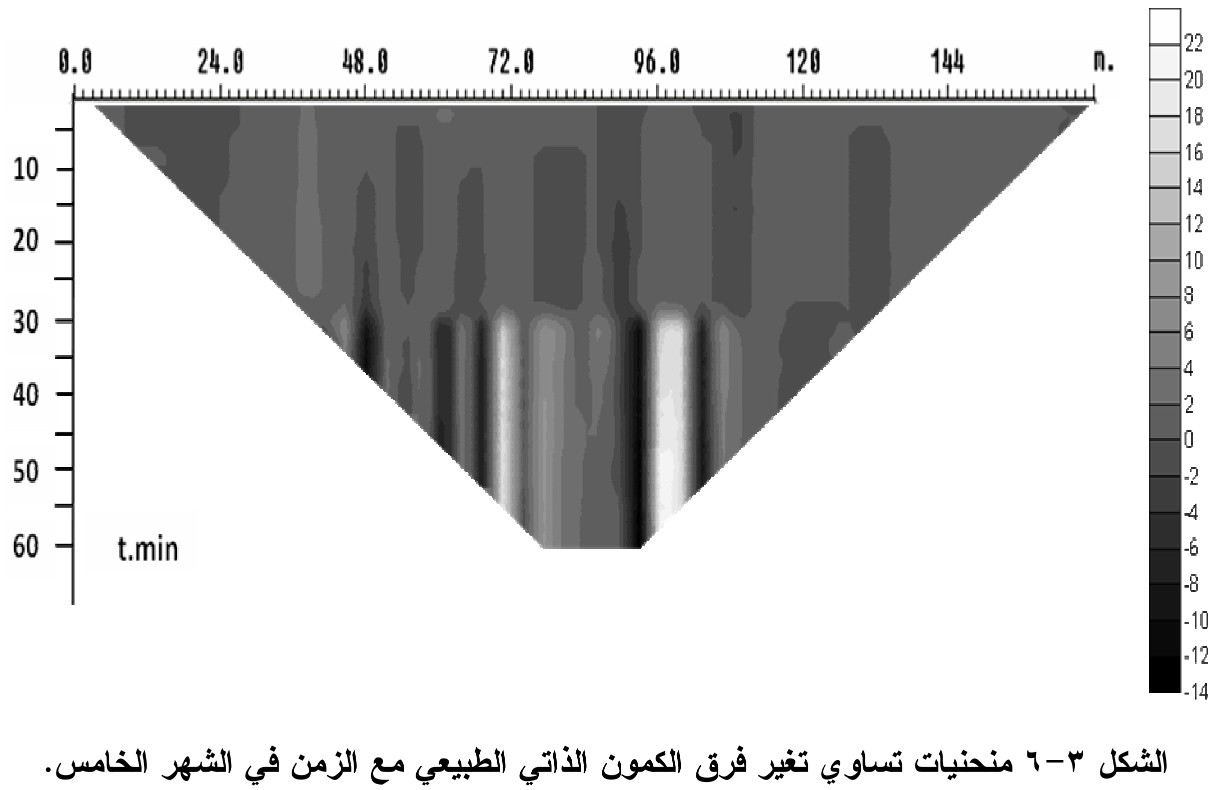
الشكل ٢-٦ مقاطع المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن المفسرة باستخدام نمذجة التفسير الخشن

٢-١-٦ تفسير نتائج قياسات الكمون الذاتي الطبيعي المرافق لسبر (VES):

في الشهر الخامس من عام٢٠٠٧ و أثناء قياس المقاومية الكهربائية الظاهرية و **قابلية الشحن** الظاهري بتشكيل وينر شلمبرجير في السبر الشاقولي VES كان يسجل فرق الكمون الطبيعي اعتباراً من بداية السبر الشاقولي حتى الانتهاء من نقطة السبر. بالتالي يتم قياس مقدار تغير فرق الكمون الذاتي الطبيعي لكل نقطة VES لمدة ساعة من الزمن . وزمن قياس المقاومية الكهربائية الظاهرية لكل نقطة VES هو ساعة واحدة . وضعنا مسريين غير قابلين للاستقطاب خارج السد موصولين بالجهاز لقياس فرق الكمون الذاتي الطبيعي المشوش الناتج عن الأمواج التللورية لكي يطرح من قيمة فرق الكمون الذاتي الطبيعي المقابل لها من ناحية الزمن و المقاس على جسم السد للحصول على تغير فرق الكمون الذاتي الطبيعي الناتج عن جسم السد و الخالي من أي تشويش ناتج عن الأمواج التللورية. فحصلنا على منحنيات تساوي تغير فرق الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن تحت كل نقطة VES للسد بأكمله كما هو مبين في الشكل٣-٦ .

إن طريقة قياس فرق الكمون الذاتي الطبيعي بهذا الأسلوب هي طريقة جديدة تنفذ لأول مرة، والغاية منها دراسة تغير الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن فوق نقطة ثابتة . حيث

أن هذا التغير بالزيادة أم النقصان مؤشر مباشر على حركة المياه في جسم السد ،فـإذا كانت نقطة انطلاق المياه الراشحة تبدي زيادة للكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن ، فـإن نقطة مصب حركة المياه الراشحة تبدي نقصان لفرق الكمون الذاتي الطبيعي مع الـزمن ، أو بالعكس . فإشارة الكمون الذاتي الطبيعي هنا ليست مؤشر على مكان رشح الميـاه أو مصبها ، وإنما المعيار الرئيسي هنا هو أن منطقة رشح المياه تبدي تغيـرا للكمـون الذاتي الطبيعي مع الزمن بإشارة معاكسة لتغير الكمون الذاتي الطبيعي مع الـزمن فـي منطقة مصب هذه المياه الراشحة . مع الأخذ بعين الاعتبار وضع محطة مرجـع بعيـدة عن مصدر الشواذ في السد . وتجرى التصحيحات اللازمة بحذف التغيرات الناتجة عـن الكمونات الذاتية الطبيعية التللورية المتغيرة مع الزمن وغيرها من التشويش العام مـن نتائج قياسات تغير الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن.



الشكل ٣–٦ منحنيات تساوي تغير فرق الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن في الشهر الخامس.

بملاحظة الشكل٣–٦ نخلص إلى التحليل الوصفي التالي :

- نلاحظ أن تزايد فرق الكمون الذاتي الطبيعي الأعظمي يكون عند النقطة ٣٢ X=٩٦m و يبدأ عند الزمن t=٣٠ minutes و يستمر حتى t=٦٠ min .نلاحظ في القطاع الممتد بين X=٧٠→١٠٠m أن الكمون الذاتي الطبيعي بشكل عام متزايد مع الزمن على الرغم من وجود قطاعين صغيرين عند X=٩٣m و X=١٠٥m يتناقص فيهما الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن .

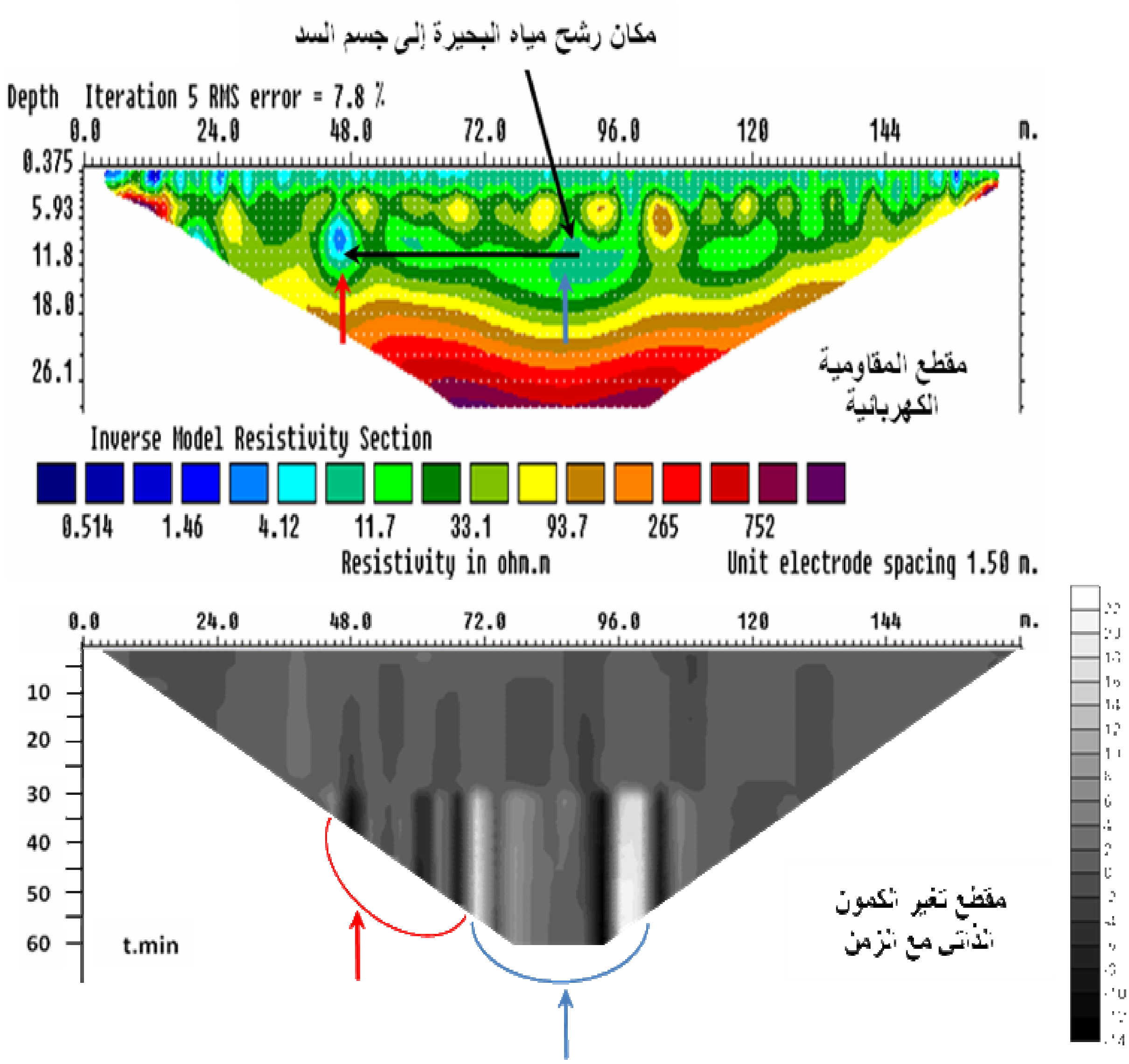
- يوجد تناقص لفرق الكمون الذاتي الطبيعي في القطاع الممتد بين X=٤٨→٧٠m و يبدأ أيضا كما في الشاذ الأول عند الزمن t=٣٠min و يستمر حتى t=٦٠ min .

و تناقص و تزايد الكمون الذتي الطبيعي مع الزمن يكون ناتج عن تراكم و تزايد الشحنات السالبة أو الموجبة مع الزمن مما يدل على حركة للمياه الراشحة ضمن جسم السد ضمن القطاع الذي يحوي تزايد الكمون الذاتي الطبيعي وتناقص الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن ، و إشارة تزايد الكمون الذاتي الطبيعي بالاتجاه السالب أو الموجب ليس معيارة لاتجاه حركة المياه الراشحة هنا ، بحيث يمكن استنتاج القطاعات التي تنطلق منها المياه الراشحة و القطاعات التي تنتهي عندها حركة المياه الراشحة من مقارنة مقطع تغير الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن مع مقطع المقاومية المفسر كما في الشكل٤-٦.

إن نطاقات تزايد الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن تقابل شواذ مقاومية كهربائية منخفضة من مرتبة ١٠ Ωm ، و هي النطاقات التي تبدأ عندها حركة المياه الراشحة و ذلك على اعتبار أن إملاء السد أعظمي و حركة المياه الراشحة ضمن جسم السد في بدايتها. لذلك تبدأ المياه الراشحة من النطاقات المنخفضة المقاومية الكهربائية . و أما نطاقات تناقص الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن فتقابل شواذ منخفضة المقاومية لكنها من مرتبة ٢٠ Ωm. أي أعلى من مقاومية الشاذات الكهربائية التي تقابلها النطاقات السابقة . لذلك نطاقات تزايد الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن تقابل النطاقات التي تنطلق من عندها المياه الراشحة نتيجة للضغوط العالية الناتجة عن مياه البحيرة ذات الارتفاع الأعظمي . أما نطاقات تناقص الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن فتقابل النطاقات التي تتجه إلها هذه المياه الراشحة . ويبين الشكل٤-٦ هذه الشواذ وحركية الشوارد مع سهم أفقي تبين اتجاه حركة المياه الراشحة.

و بما أن المياه الراشحة تحركت هنا تحت تأثير ضغوط مياه بحيرة السد لذلك فإن القطاع المنخفض المقاومية الكهربائية السابق الذكر يكون عبارة عن نطاق مخلخل غير متماسك بشكل كافي. و هذه المياه ترشح إلى جسم السد من القطاع شبه الكروي المنخفض المقاومية الكهربائية الواقع على مسافة X=٩٠-٩٣m و على عمق z=١٢m. ثم

رشحت عبر هذا النطاق المخلخل.و ما سيؤكد لنا هذه الحركات الأفقية للمياه الراشحة هو مقطع التغير النسبي بين المقاومية الكهربائية و **قابلية الشحن** المفسر للشهر الخامس و الحادي عشر من السنة ٢٠٠٧.



الشكل ٤-٦ مقارنة بين مقطع المقاومية الكهربائية المفسرة ومقطع تغيرات الكمون الذاتي الطبيعي المقاس مع الزمن بالتوازي مع VES

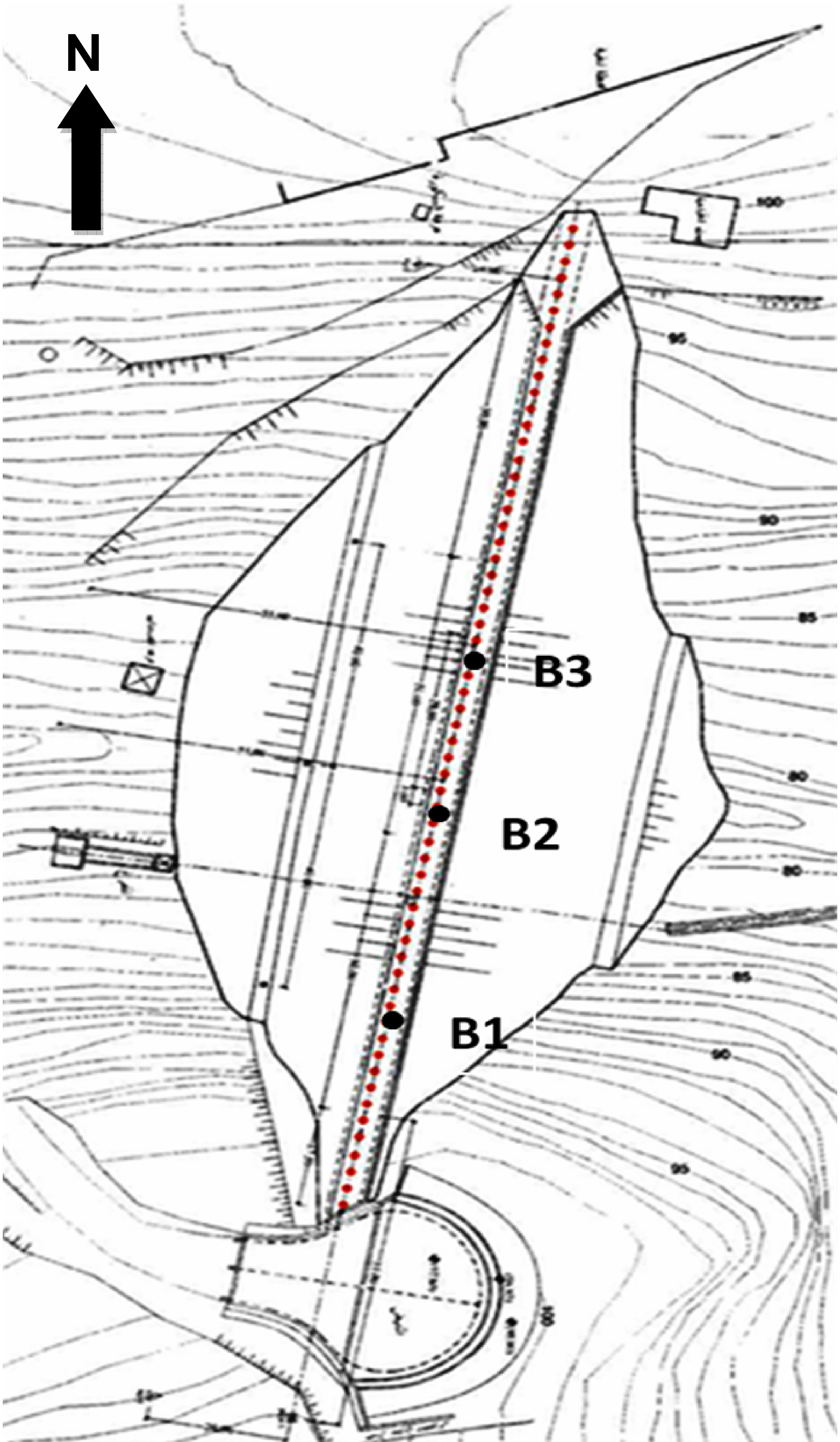
٣-١-٦ مقارنة نتائج الدراسات الجيوهندسية مع القياسات الجيوكهربائية:

قامت الوحدة المهنية التابعة لكلية الهندسة المدنية *(منصوري،ع.(٢٠٠٥))* بحفر ثلاثة سبور (آبار) على سطح جسم السد بغرض التحريات الجيوهندسية لجسم هذا السد عندما كان إملاء بحيرة السد أعظميا و ذلك في فصل الربيع من عام٢٠٠٥.قمنا بمقارنة نتائج التفسير الجيوكهربائي مع نتائج السبور الجيوهندسية(مسامية ورطوبة) بهدف ربط المعطيات الجيوكهربائية بالمعطيات الجيوهندسية للوصول إلى علاقة تربط بين هذه البارمترات ، بغية تقدير تغير درجة الرطوبة من خلال تغير المقاومية الكهربائية و **قابلية الشحن.**

ملاحظة : ينبغي الأخذ بعين الاعتبار عند الربط بين نتائج السبور الجيوكهربائية والسبور الجيوهندسية الفارق الزمني بينهما. حيث أن زمن تنفيذ السبور الجيوهندسية هو ربيع ٢٠٠٥ بينما نفذت السبور الجيوكهربائية في ربيع ٢٠٠٧ أي بعدها بفترة حوالي سنتين . بالرغم من الفارق الزمني حاولنا الاستفادة قدر الإمكان(مع كثير من التحفظات) من نتائج السبور الجيوهندسية وخاصة الرطوبة والمسامية .

تبعد مواقع الآبار المحفورة B٣,B٢,B١ عن بداية جسم السد على التوالي : ٦١,٥m,٩٤,٥m,١٢١,٥m ، كما بالشكل٥-٦.

إن المعيار الرئيسي في دراسة منطقة ضعيفة من النواة الغضارية حسب الدراسات الجيوهندسية هي الرطوبة، بحيث أن رطوبة النواة الغضارية بالكامل لسد حبران يجب أن تتراوح ما بين ١٨٪ و ٢٥% *(منصوري،ع.(٢٠٠٥))*، ويمكن أن تصل إلى حد اللدونة كحد أعظمي Wp=٣٠% *(منصوري،ع.(٢٠٠٥))* بحيث تبقى النواة الغضارية في المجال السليم. أما إذا زادت رطوبة النواة عن حد اللدونة لتصل إلى عدد اللدونة Ip=٤٠٪ *(منصوري،ع.(٢٠٠٥))* (عدد اللدونة أو قرينة اللدونة هو الحد الفاصل بين حد اللدونة و حد السيولة) فإن ذلك سيكون مؤشر على وجود شاذ هندسي و منطقة رخوة مفككة قد تؤدي إلى مشاكل مستقبلية في جسم السد ***(Mainali,G.(٢٠٠٦))***.

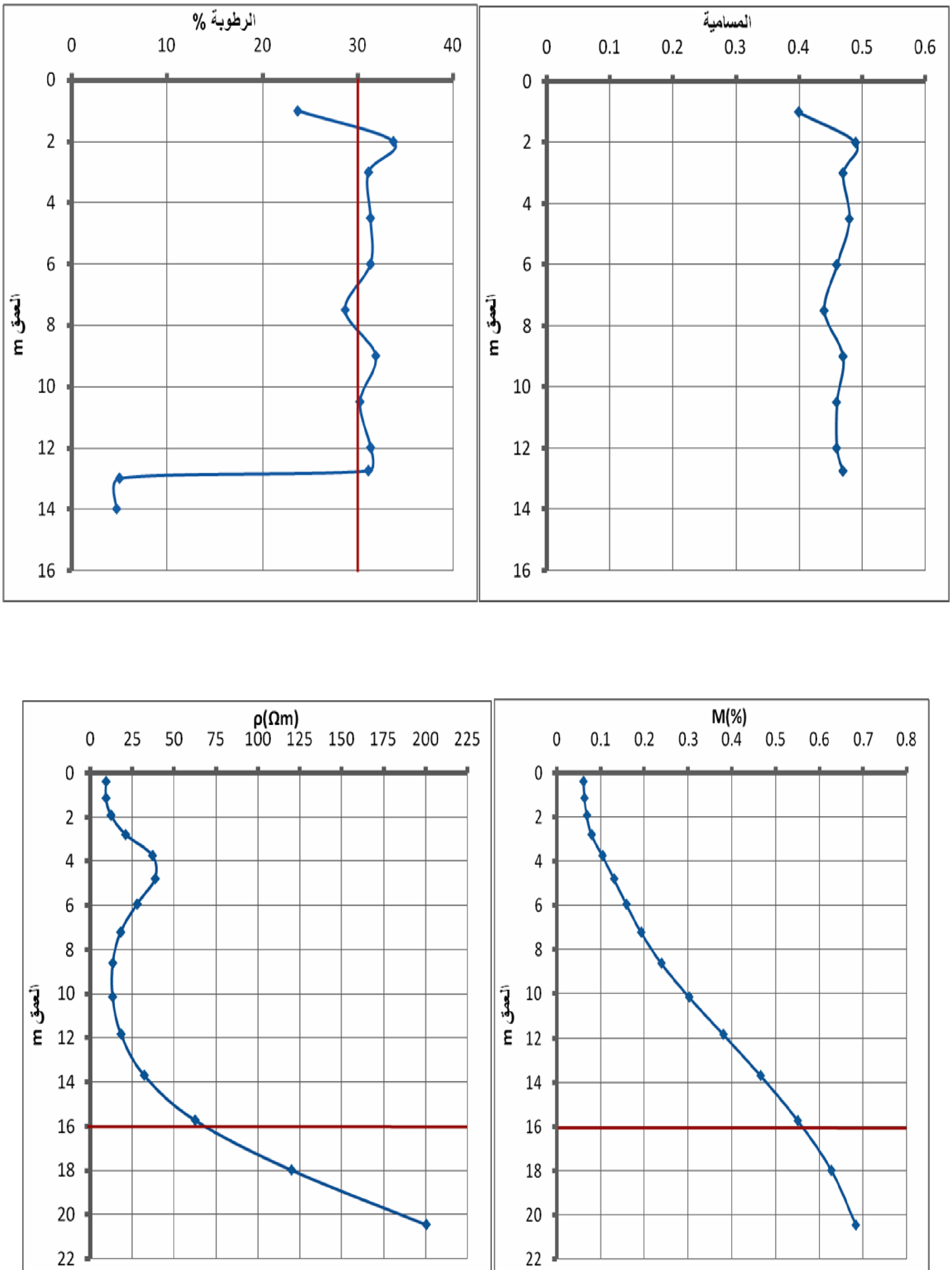


الشكل ٥-٦ مخطط مواقع السبور الجيوهندسية على جسم السد

• مقارنة مع نتائج البئر B١:

يعبر الشكل ٦-٦ عن تغير المقاومية الكهربائية و **قابلية الشحن** المفسر بدلالة العمق و في نقطة السبر ذات المسافة المقابلة لبئر السبر المحفور و مقارنتهما مع تغير الرطوبة و المسامية بدلالة العمق ، و قد رسم على منحني تغير الرطوبة مع العمق خط أحمر يقابل قيمة الرطوبة ٣٠٪ بحيث أن هذا الخط الأحمر يعبر عن الحد الذي يجب أن لا تتجاوزه الرطوبة ، تم رسم خط أحمر عند العمق ١٦m على منحنيات تغير المقاومية الكهربائية و **قابلية الشحن** مع العمق و هويعبر عن عمق البازلت أسفل النواة الغضارية في هذه النقطة.

و هنا في منطقة السبر لم تتجاوز الرطوبة هذه ٣٠٪ بشكل ملحوظ و بالتالي فإن النقطة المدروسة لا تحوي شواذ جيوهندسي ملحوظ. حتى و إن كان هناك انخفاض في قيمة المقاومية الكهربائية الحقيقية على عمق ١٥m فإن قيمة المقاومية الكهربائية الحقيقية هنا لا تشير إلى شاذ معين ، و نلاحظ على سبر **قابلية الشحن** ارتفاع قيمة **قابلية الشحن** الحقيقي عند الحد الفاصل بين الغضار المكون للنواة الغضارية البازلت أسفل النواة .

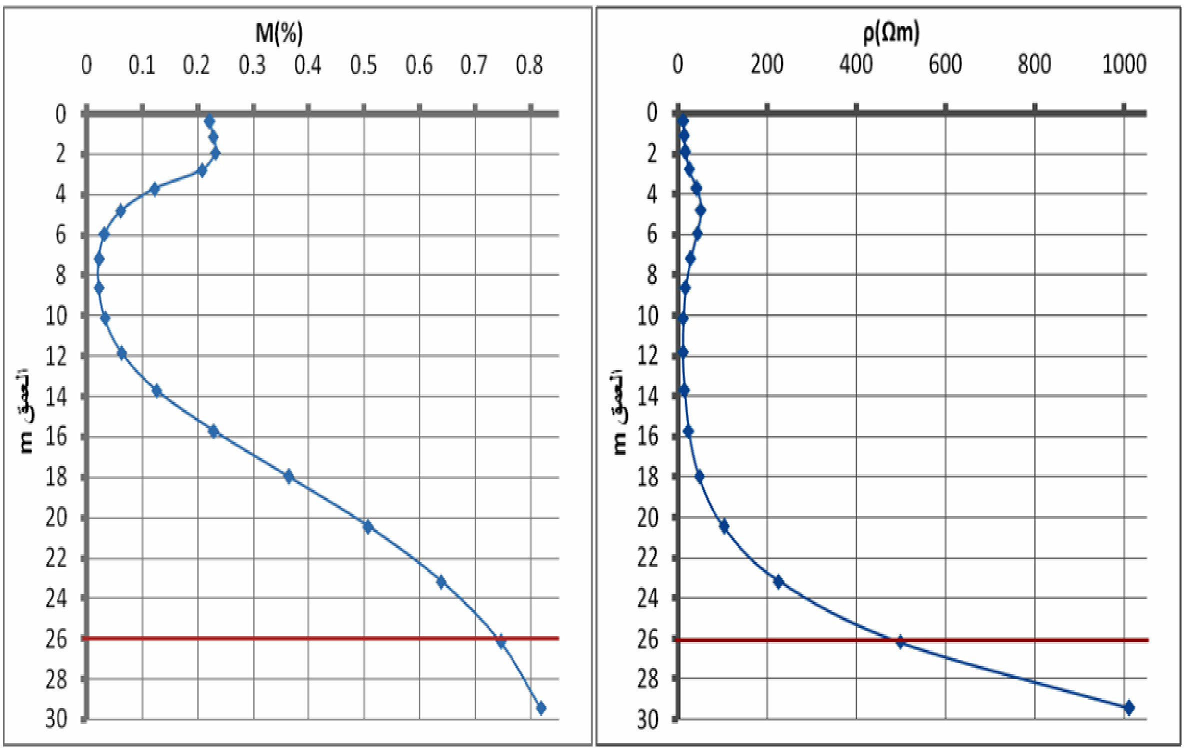


الشكل ٦-٦ مخططات تبيت تغير الرطوبة و المسامية و المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن المفسرة مع العمق للبئر B١

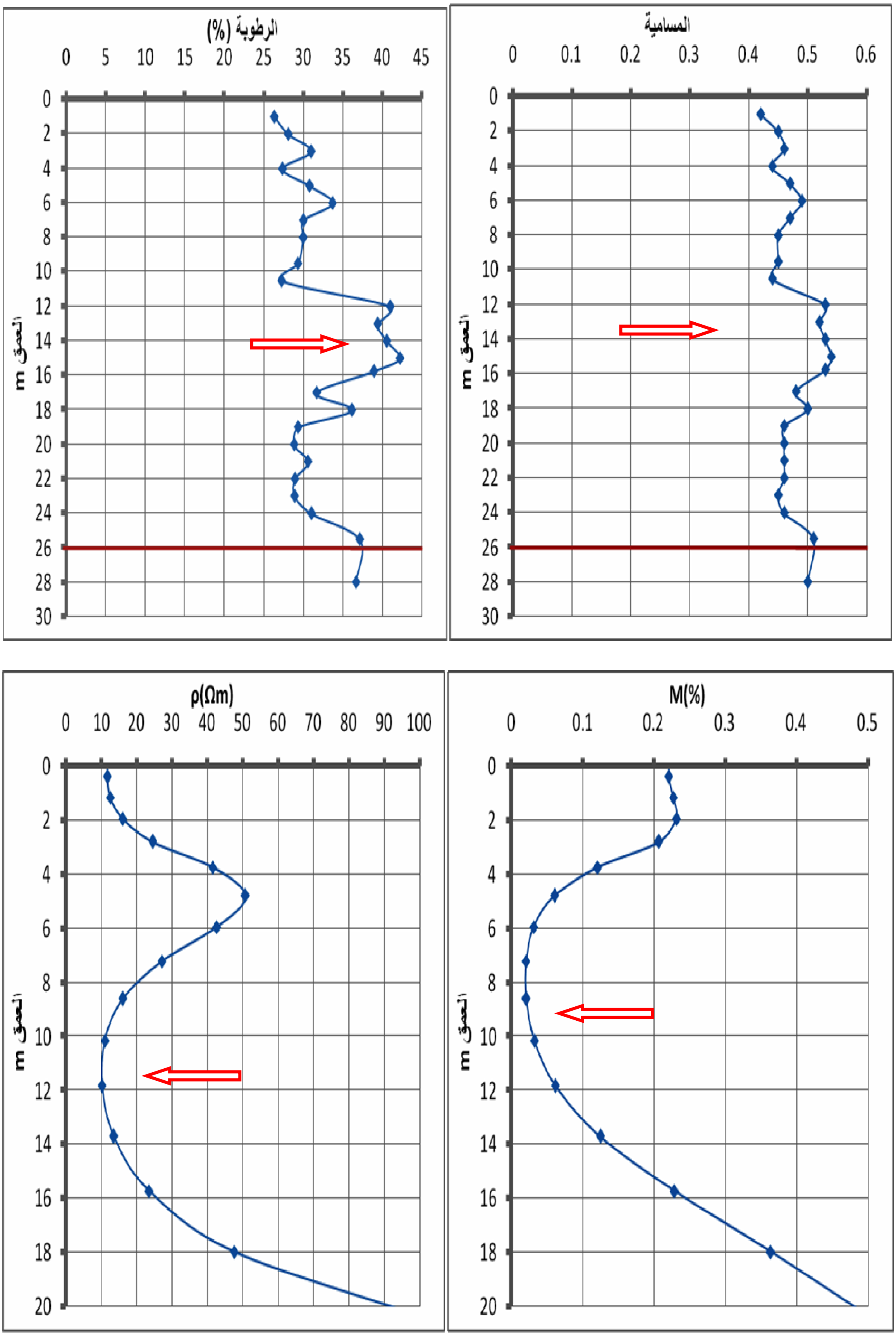
• مقارنة مع نتائج البئر B٢ :

نلاحظ عند العمق ١٥m→١٠m (الشكل٦-٧-b) أن الرطوبة بلغت حوالي ٤٢٪ وهي أكبر من الحد المسموح به ، فهي تشير إلى نطاق رطب جدا و مخلخل، و يقابلها على منحني المسامية مسامية تساوي ٥٢٪ . بالمقابل نلاحظ على منحني المقاومية الكهربائية المفسر أن المقاومية الكهربائية الحقيقية تنخفض إلى ١٠ Ωm على العمق ١٢m→١١m (الشكل ٦-٧-a و الشكل٦-٧-b).

أما على منحنيات قابلية الشحن المفسرة ، فنلاحظ انخفاض قابلية الشحن لتصل إلى قيمة أصغرية عند العمق ١٠m→٨m ، و هذا الانخفاض الكبير لقيمة لقابلية الشحن يفسر نتيجة الرطوبة العالية لهذا القطاع و التي تصل إلى ٤٢٪ عند نفس العمق تقريبا ، حيث أن قابلية شحن الغضار ترتفع بارتفاع الرطوبة ، و لكن بزيادة رطوبة الغضار فوق القيمة (٢٠٪) تبدأ قابلية الشحن بالتناقص .



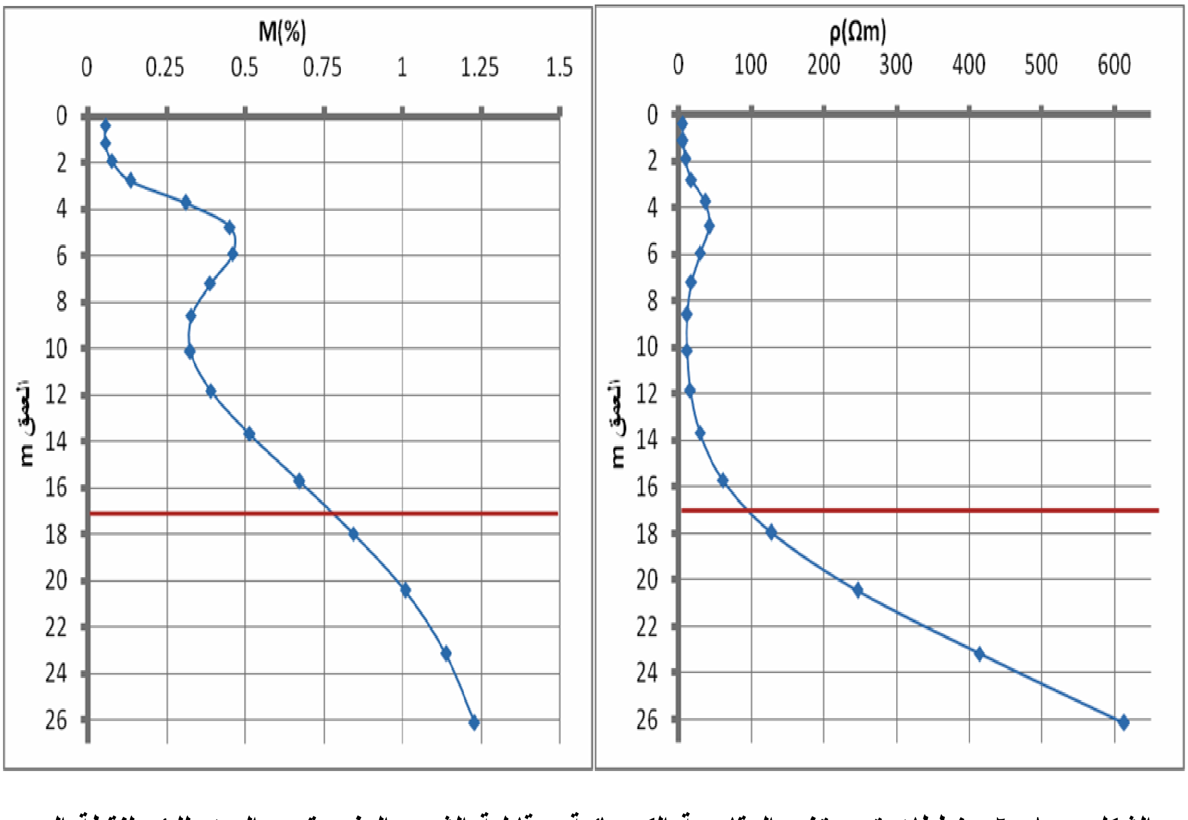
الشكل ٦-٧-a مخططات تبين تغير المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن المفسرة مع العمق الكلي للبئر لنقطة السبر المقابل للبئر B٢ ، و الخط الأحمر يقابل عمق حد البازلت السفلي في هذه النقطة .



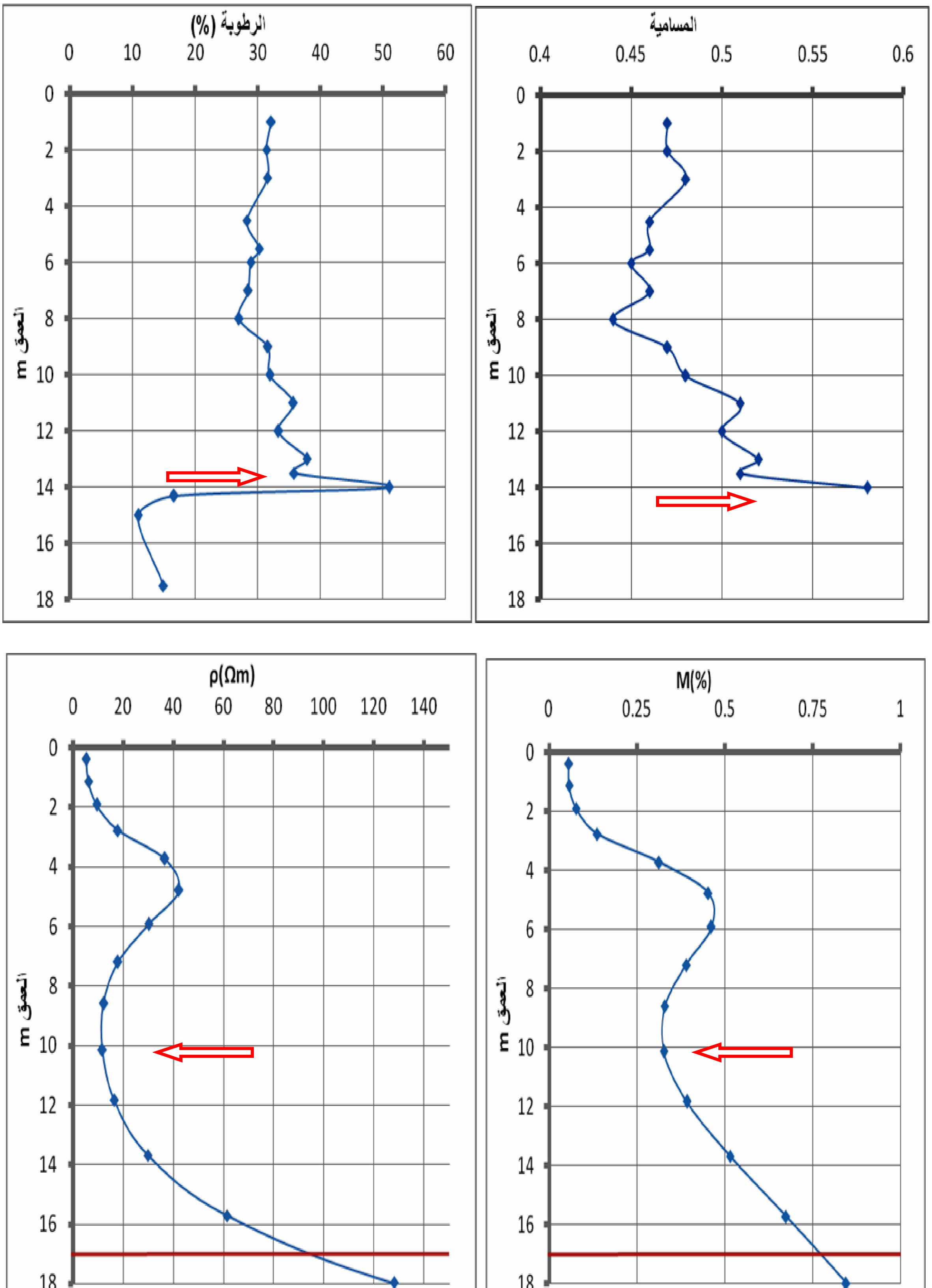
الشكل b-٧-٦ مقارنة بين تبين تغير الرطوبة و المسامية و المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن المفسرة مع العمق للبئر B٢

• مقارنة مع نتائج البئر B٣:

نلاحظ من منحني الرطوبة على الشكل b-٨-٦ وجود تزايد كبير للرطوبة تصل إلى قيمة ٥١٪ على عمق ١٤m و المسامية عند هذه النقطة تصل لقيمة ٠,٦ ، و الجدير بالذكر أن أعلى قيمة تبلغها مسامية الغضار تبلغ ٠,٦←٠,٥ (آغا،و،ر.١٩٩٣). بالمقابل فإن قيمة المقاومية الكهربائية المفسرة تنخفض في المنحني الأول إلى ١٠Ωm عند العمق ١١m (الشكل a-٨-٦ و b-٨-٦) ، و نلاحظ على منحني قابلية الشحن المفسر انخفاضا واضحا عند العمق ١١m وسببه كما ذكرنا الرطوبة العالية التي نلاحظها على منحني الرطوبة و التي تصل إلى ٥١٪ عند نفس العمق تقريبا و التي تسبب انخفاض قابلية الشحن في هذا العمق .



الشكل a-٨-٦ مخططات تبين تغير المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن المفسرة مع العمق للبئر لنقطة السبر المقابل للبئر B٣ ، و الخط الأحمر يقابل عمق حد البازلت السفلي في هذه النقطة .



الشكل b-٨-٦ مقارنة بين تبين تغير الرطوبة و المسامية و المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن المفسرة مع العمق للبئر B٣، و الخط الأحمر يقابل عمق حد البازلت السفلي في هذه النقطة .

من خلال الربط بين قيم الرطوبة والمسامية مع قيم المقاومية المفسرة نستنتج ما يلي :

القطاعات ذات الرطوبة التي تصل لقرينة الدونة ٤٠% و مسامية تتجاوز ٠,٥ (سابقا) تقابلها (حاليا) مقاوميات كهربائية مفسرة(حقيقية)١٠Ωm ، و قابلية شحن مفسر (حقيقي)٠,٠٢٪ إلى ٠,٠٣٪ . وبالتالي القطاعات ذات الرطوبة العالية تقابل انخفاض بالمقاومية الكهربائية و قابلية الشحن إلى حد كبير . وهذا ما يؤكد وجود ارتباط مباشر للشواذ منخفض المقاومية الكهربائية ومرتفع قابلية الشحن بزيادة الرطوبة الناتجة عن المياه الراشحة من بحيرة السد .

و الجدير بالذكر أن الفكرة العامة لأماكن وجود شواذ مخلخل في جسم أي سد ، يكون بجانب المفرغ لأن المنطقة المحيط بها صعبة الرص مما يزيد من إحتمالية وجود الشواذات الجيوهندسية حوله . يقع المفرغ في سد حبران على عمق Z=٢٠m و يبعد مسافة X=١٠٨m تقريبا عن بداية السد الشمالية ، أما منطقة رشح مياه البحيرة إلى داخل جسم السد تقع على عمق Z=١٢→١٥m و تبعد مسافة X=٩٦m عن بداية السد ، أي بعيد نسبيا عن مكان المفرغ ، حتى أذا ما نظرنا إلى مقطع المقاومية الكهربائيةالمفسر في الشكل ١-٩ نجد أن مكان المفرغ يتمتع بمقاومية كهربائية عالية ، لذلك نستنتج أن المنطقة المحيطة بالمفرغ ذات رص جيد ، و إن هذا الشاذ ناتج عن ازدياد نسبة الشوائب غير الغضارية (حصى ، رمال) في منطقة الشاذ الجيوكهربائي .

٦-٢ تفسير نتائج قياسات الشهر الحادي عشر من العام٢٠٠٧ :

كان منسوب البحيرة خلال هذه الفترة ينخفض ٦m عن قمة السد .

درجة حرارة مياه البحيرة : T=٨ C°

تركيز الأملاح المنحلة في مياه البحيرة: TDS=١٤٣ mg\L

٦-٢-١ تفسير مقطع المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن الظاهرية لقياسات الشهر الحادي عشر:

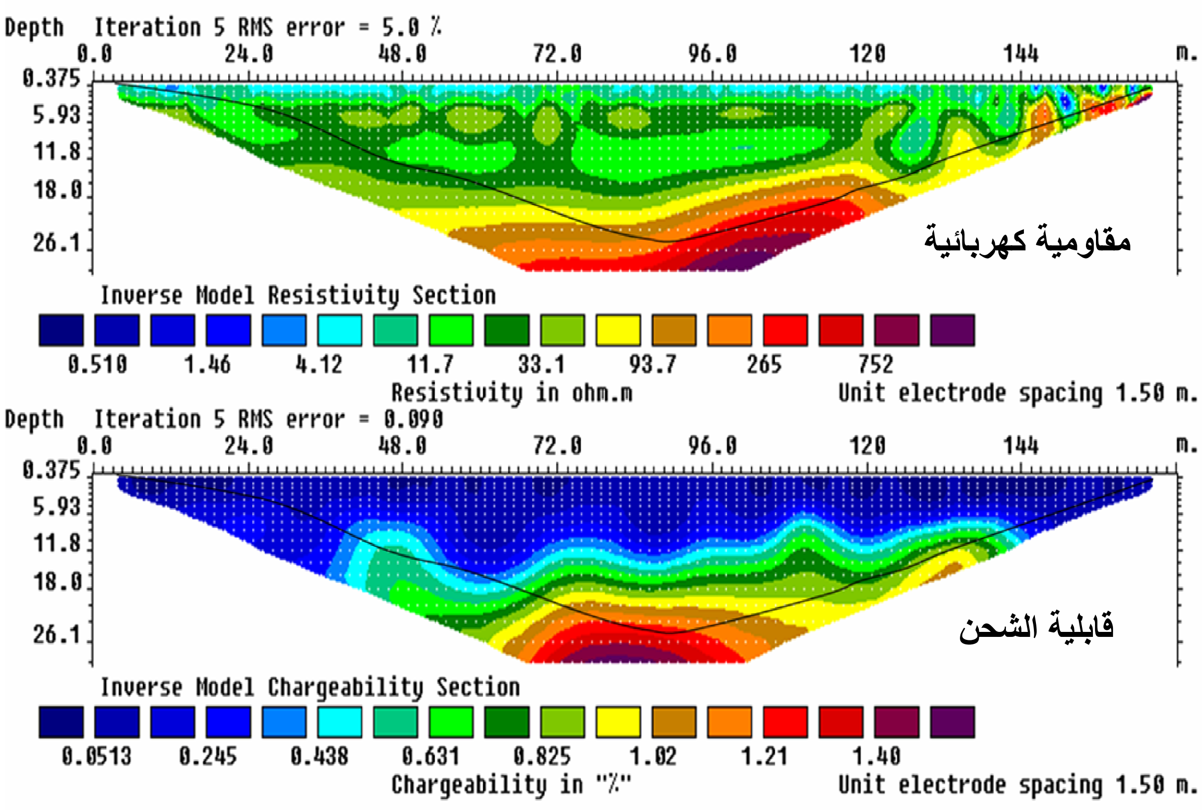
نلاحظ على مقاطع المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن المفسر في حالتي نمذجة التفسير الناعم و نمذجة التفسير الخشن (الشكلان٦-٩ و ٦-١٠) ، أن مقطعي المقاومية الكهربائية متشابهين لحد كبير من حيث أماكن الشواذ و قيمة المقاومية الكهربائية . و التغير الطفيف في المقطعين ناتج عن النمذجة الخشنة حيث أن هذه النمذجة جدلا تعطي مقطع مفسر ذو مظهر خشن . و بالنسبة لمقاطع قابلية الشحن المفسر الناعمة و الخشنة تكون بالمجمل متشابهة ما عدا الاختلاف البسيط الملاحظ في الجزء الأيمن من هذه المقاطع عند المسافة x=١١٠m→١٤٠m و هذا الاختلاف قد يكون ناتجا عن تشويش خارجي طبيعي أو صنعي متعلق بأجهزة القياس و ذلك لأن قابلية الشحن تتأثر بشكل كبير بتغير الظروف المحيطة بأجهزة القياس، لكن الاختلاف السابق الذكر يبقى صغير و لا يؤثر بشكل كبير على ملامح مقطع قابلية الشحن المفسرة و شكل الشاذ العام.

و نلاحظ على مقاطع المقاومية الكهربائية وجود الشاذ نفسه الملاحظ في الشهر الخامس و لكن بارتفاع طفيف في قيمة المقاومية الكهربائية للشاذ و توسع هذا الشاذ نحو اليمين قليلا و اليسار و الأعلى و الأسفل، و هذا قد يكون ناتج عن نقصان منسوب مياه البحيرة و بالتالي نقصان ضغوط المياه المؤثرة على جسم السد و نتيجة لذلك امتصت الغضاريات الجافة المياه الراشحة في منطقة دخول مياه البحيرة إلى النواة الغضارية الملاحظة في مقطع المقاومية الكهربابية المفسر في الشهر الخامس عند X=٩٦m و Z=١٢m ،بحيث نلاحظ على مقطع المقاومية الكهربائية المفسر أن الشاذ المنخفض المقاومية الذي كان موجودا في الشهر الخامس انقسم إلى قسمين :

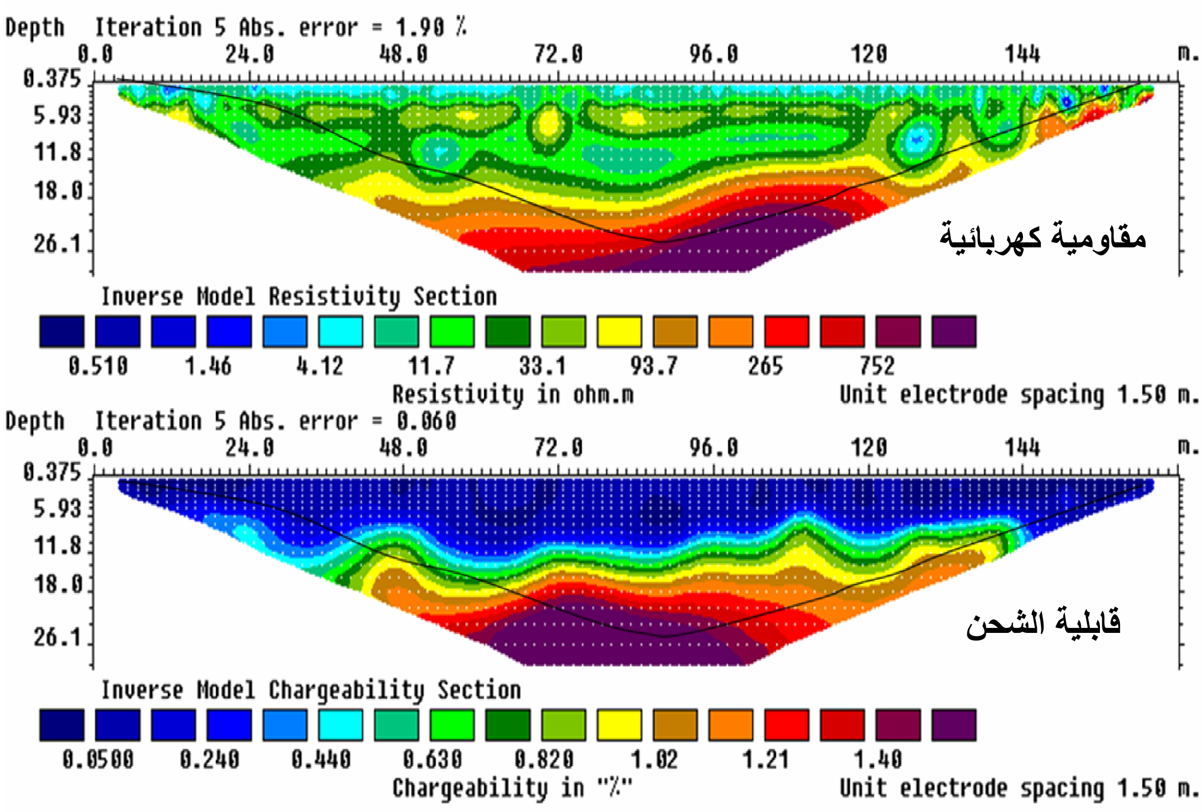
الأول يمتد ضمن القطاع (X=٧٢→١١٠m) وعمق Z=١٠m تقريبا ، و الثاني موجود ضمن المسافة X=٤٨→٦٧m و عمق Z=١٠→١٢m، و لكن ارتفعت المقاومية الكهربائية للشاذ المنخفض المقاومية الممتد بشكل أفقي قليلا لتصبح (٢٥Ωm).

بالنسبة لقابلية الشحن نلاحظ ارتفاع قيمة قابلية الشحن عند العمق Z=١٢→١٥m و المقابل لمنطقة الشاذ ، يستمر الارتفاع تدريجيا نحو الأسفل حتى نصل لقعر السد. و نلاحظ أن البازلت أسفل النواة الغضارية يبدي قابلية شحن أعلى من قابلية شحن الغضار المكون للنواة الغضارية للسد.

لاحظنا في الشهر الخامس أن الشاذ المنخفض المقاومية الكهربائية على مقطع المقاومية الكهربائية المفسر يقابل على مقطع قابلية الشحن المفسرة شاذ تنخفض فيه قابلية الشحن إلى قيمته الدنيا عكس ما ظهر لنا في نتائج الشهر الحادي عشر ، حيث يقابل الشاذ المنخفض المقاومية الكهربائية على مقطع قابلية الشحن المفسر قطاع تتزايد فيه قابلية الشحن ، و هذا دليل على انخفاض رطوبة الشاذ في هذا الشهر بتأثير انخفاض الضغط المطبق على جسم السد ، بسبب انخفاض منسوب مياه بحيرة السد، و هذا يؤكد على تأثر رطوبة قطاع السد المقابل لهذا الشاذ بمنسوب مياه بحيرة التخزين .



الشكل٩-٦ مقاطع المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن المفسر باستخدام نمذجة التفسير الناعم.



الشكل١٠-٦ مقاطع المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن المفسر باستخدام نمذجة التفسير الخشن.

٦-٢-٢ مقطع التغير النسبي للمقاومية الكهربائية المفسرة بين الشهرين الخامس و الحادي عشر من العام ٢٠٠٧ :

كان تركيز الأملاح المنحلة و درجة حرارة العينات السطحية المأخوذة من بحيرة السد في كلا الشهرين كما يلي :

T ٥,٢٠٠٧ = ٢٢C° , TDS ٥,٢٠٠٧= ١٢٤ mg\L   T ١١,٢٠٠٧ =٨ C° , TDS ١١,٢٠٠٧= ١٤٣mg\L

يبين الشكل ٦-١١ مقطع المقاومية الكهربائية المفسر في الشهرين الخامس والحادي عشر في العام ٢٠٠٧ و مقطع التغير النسبي بينهما بفرض أن مقطع المقاومية الكهربائية المفسر للشهر الخامس هو الموديل المرجع .

توجد العديد من القطاعات الشاذة قريبة من السطح على عمق Z=٥m وما دون. وغالبا يتعلق تغير المقاومية الكهربائية النسبي في هذه القطاعات بظروف المناخ الخارجية.

نلاحظ على مقطع التغيرات النسبية وجود قطاعين تزداد فيها المقاومية الكهربائية في الشهر الحادي عشر بالنسبة للشهر الخامس لعام ٢٠٠٧ . يمتد القطاع الأول ضمن المسافة X=٥٠m→٧٠m و على عمق Z=١٠m ، و القطاع الثاني عبارة عن شاذين دائريين كبيرين تزداد فيهما المقاومية الكهربائية بقيم كبيرة جدا، يمتد الأول ضمن المسافة X=٧٥m→١٠٠m ، و على عمق Z=١٢-١٦m تقريبا، و الثاني ضمن المسافة X=١٠٠m→١٢٣m على عمق Z=١٢-١٦m تقريبا.

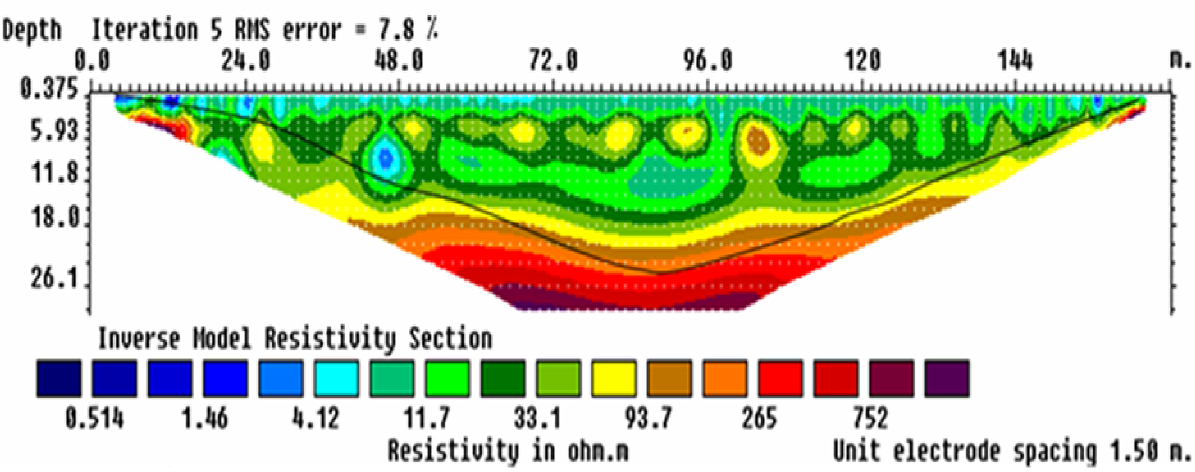
هذه القطاعات (X=٧٥m→١٠٠m , X=١٠٠m→١٢٣m، وعمق Z=١٢-١٦m) و (X=٥٠m→٧٠m و عمق Z=١٠m) تطابق تقريبا القطاعات الشاذة المنخفضة المقاومية الكهربائية في المقاطع المفسرة. وعلى الأرجح أن ارتفاع المقاومية الكهربائية لهذه القطاعات ناتجا عن انخفاض منسوب مياه بحيرة السد في الشهر الحادي عشر و بالتالي نقصان الضغوط المطبقة على جسم السد ونقصان إشباع هذا القطاع بالمياه الراشحة من بحيرة السد. لذلك يعتبر تغير المقاومية الكهربائية لهذا القطاع متعلق بدرجة الإشباع المائي وليس بتركيز الأملاح المنحلة في المياه المتغلغلة ضمن جسم السد.

نلاحظ على بقية أجزاء السد انخفاض المقاومية الكهربائية في الشهر الحادي عشر بالنسبة للشهر الخامس لعام ٢٠٠٧ ، و قيمة التغير النسبي فيها يكون تقريبا متساو . و يمكن أن نفسر انخفاض المقاومية بزيادة تركيز الأملاح المنحلة في الشهر الحادي عشر عنها في الشهر الخامس، بحيث أن تأثير درجة الحرارة على المقاومية الكهربائية لمياه

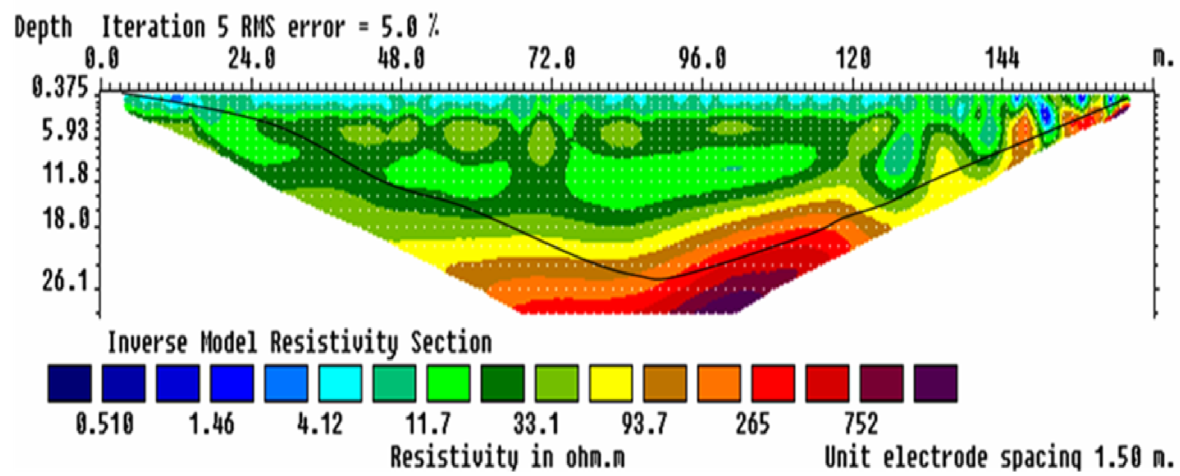
بحيرة التخزين الممتد ضمن النواة الغضارية يكون مهملا كما ذكرنا في الفقــرة -٢-١-٢
.a

كما نلاحظ أن مقطع التغير النسبي يعكس حد السد السفلي بشكل واضح و خصوصا فــي المنطقة X=٤٥-١٠٠m ، Z=١٦-٢٦m ، بالمقارنة مع مقاطع المقاوميــة الكهربائيــة المفسرة.

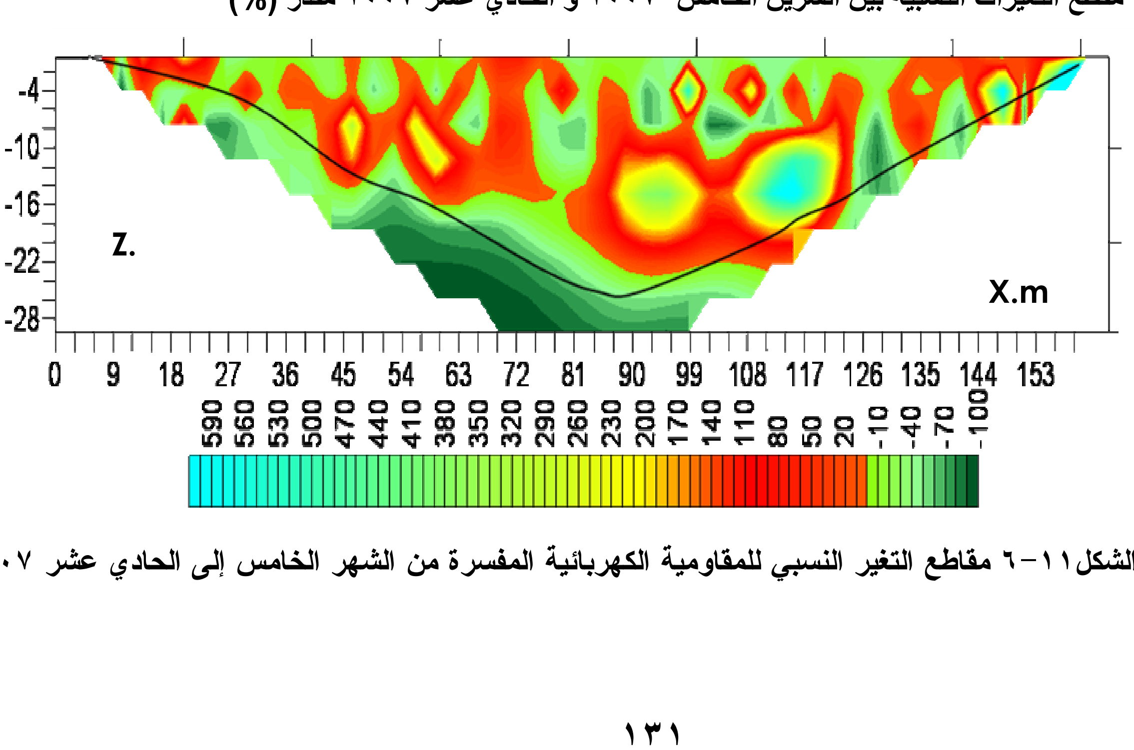
مقطع المقاومية الكهربائية المفسر في الشهر الخامس ٢٠٠٧



مقطع المقاومية الكهربائية المفسر في الشهر الحادي عشر ٢٠٠٧



مقطع التغيرات النسبية بين الشرين الخامس ٢٠٠٧ و الحادي عشر ٢٠٠٧ مقدر (%)



الشكل١١-٦ مقاطع التغير النسبي للمقاومية الكهربائية المفسرة من الشهر الخامس إلى الحادي عشر ٢٠٠٧

٣-٢-٦ مقطع التغير النسبي لقابلية الشحن المفسر بين الشهرين الخامس و الحادي عشر من العام ٢٠٠٧ :

يمثل الشكل١٢-٦ مقطع التغيرات النسبية لقابلية الشحن المفسر بين الشهرين الخامس عام ٢٠٠٧ و الشهر الحادي عشر عام ٢٠٠٧.

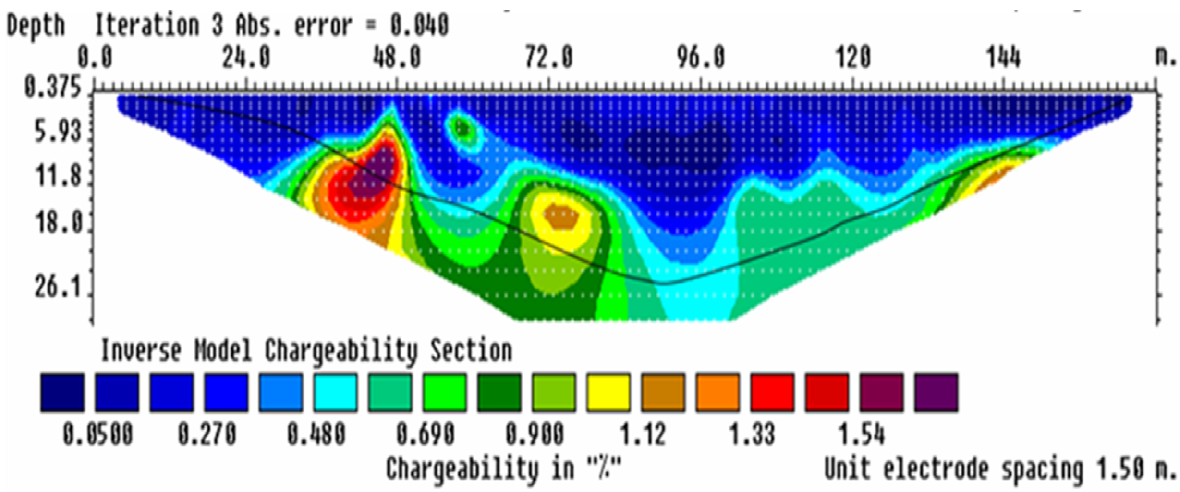
إذا ما قارنا مقطع التغيرات النسبية لقابلية الشحن المفسر مع مقطع التغيرات النسبية للمقاومية الكهربائية المفسرة : نلاحظ في مقطع التغيرات النسبية للمقاومية الكهربائية (RV ρ) أن قطاع ازدياد المقاومية الكهربائية الناتج عن نقصان درجة الإشباع المائي و الممتد من X=٩٠m→١٢٣m ،على عمق Z=١٢-١٤m يقابله على مقطع التغيرات النسبية لقابلية الشحن المفسر (RV M) قطاع يزداد فيه قابلية الشحن في الشهر الحادي عشر عام ٢٠٠٧ بالنسبة للشهر الخامس عام ٢٠٠٧ و تفسيره أن في الشهر الخامس كانت رطوبة هذا النطاق عالية (أعلى من ٢٠٪) ، و كما ذكرنا تزداد قابلية شحن الغضار بارتفاع رطوبته ، و لكن عندما تزداد رطوبة الغضار عن حد معين (٢٠٪) يؤدي هذا إلى انخفاض قابلية الشحن ، و بالتالي عندما خفت رطوبة الغضار في الشهر الحادي عشر ارتفعت قيمة قابلية شحن الغضار في هذا النطاق . أما الشاذ الممتد ضمن X=٥٠m→٧٠m و على عمق Z=١٠m و الذي يمثل ازدياد المقاومية الكهربائية في مقطع (RV ρ) يقابله على مقطع(RV M) انخفاض لقيمة قابلية الشحن لهذا القطاع و ذلك بسبب أن رطوبته في الشهر الخامس كانت عالية و لكن أقل من ٢٠٪ و نتيجة انخفاض منسوب بحيرة السد في الشهر الحادي عشر ، و انخفاض الضغوط الناتجه عنها ، انخفضت رطوبته و بالتالي انخفضت قيمة قابلية الشحن .

و نستنتج مما سبق الممتد أن الشاذ الممتد من X=٧٠→١١٠m و على عمق Z=١٠→١٢m يتمتع برطوبة أعلى من الشاذ و الممتد من X=٥٠→٧٠m على عمق Z=١٠→١٢m ، و تغير قابلية الشحن لهذين النطاقين متعلق بالرطوبة .

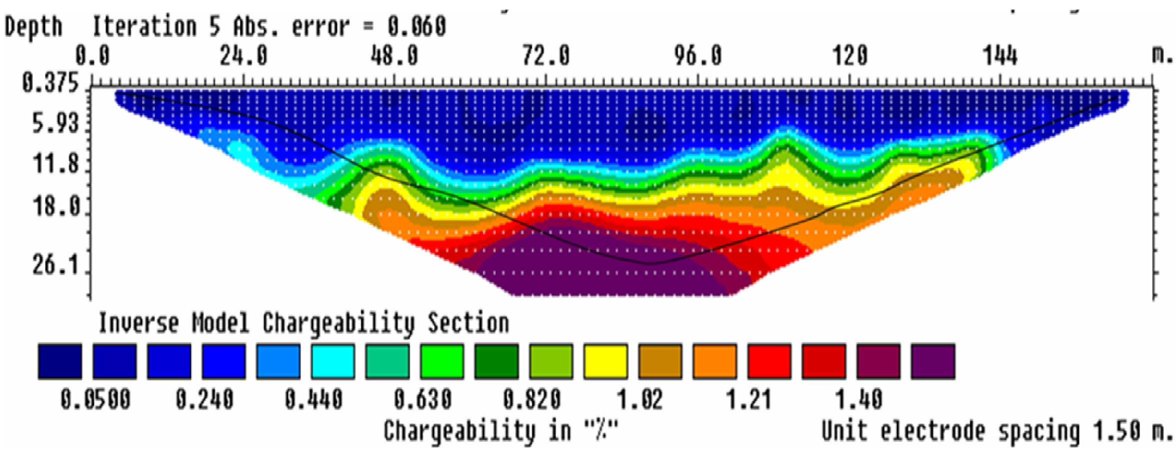
نلاحظ على بقية أجزاء السد الواقعة أسفل النطاقات السطحية و المقابلة على مقطع التغير النسبي للمقاومية الكهربائية قطاعات انخفاض المقاومية الكهربائية في الشهر١١/٢٠٠٧ بالنسبة للشهر ٥/٢٠٠٧ (قطاعات تتغير مقاوميتها الكهربائية تبعا لتركيز الأملاح في بحيرة السد) ازدياد قيمة قابلية الشحن في الشهر ١١/٢٠٠٧ بالنسبة للشهر ٥/٢٠٠٧ .

نلاحظ على مقطع التغيرات النسبية لقابلية الشحن وجود قطاعات ممتدة على طول السد و لكـــن على أعماق لا تتجاوز ٤m و قد تكون ناتجة عن تأثير عوامل الجو الخارجيـــة علـــى قابليـــة الشحن المتغيرة لهذه القطاعات السطحية .

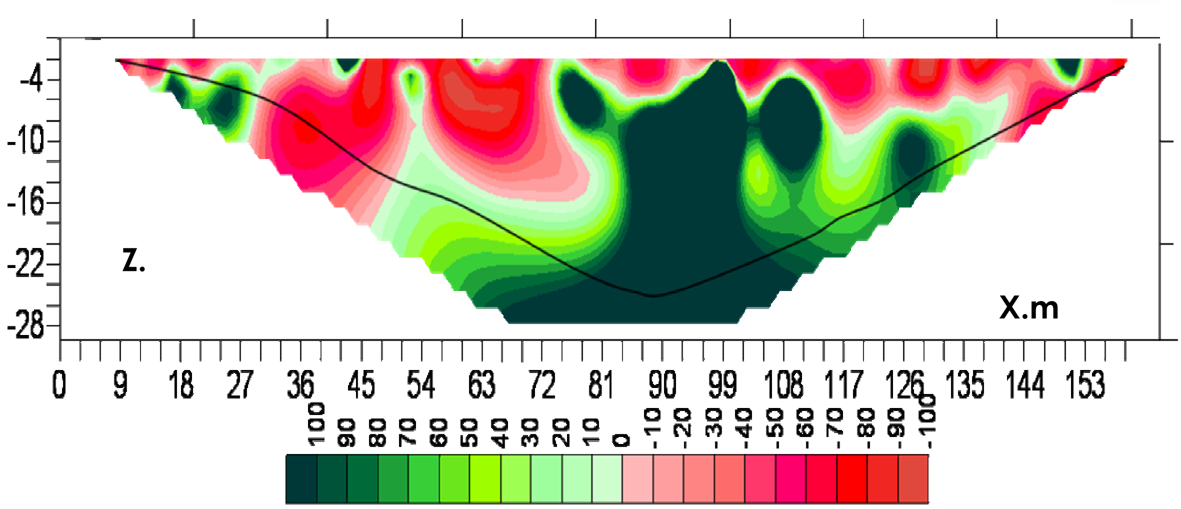
مقطع قابلية الشحن المفسر في الشهر الخامس ٢٠٠٧



مقطع قابلية الشحن المفسر في الشهر الحاي عشر ٢٠٠٧



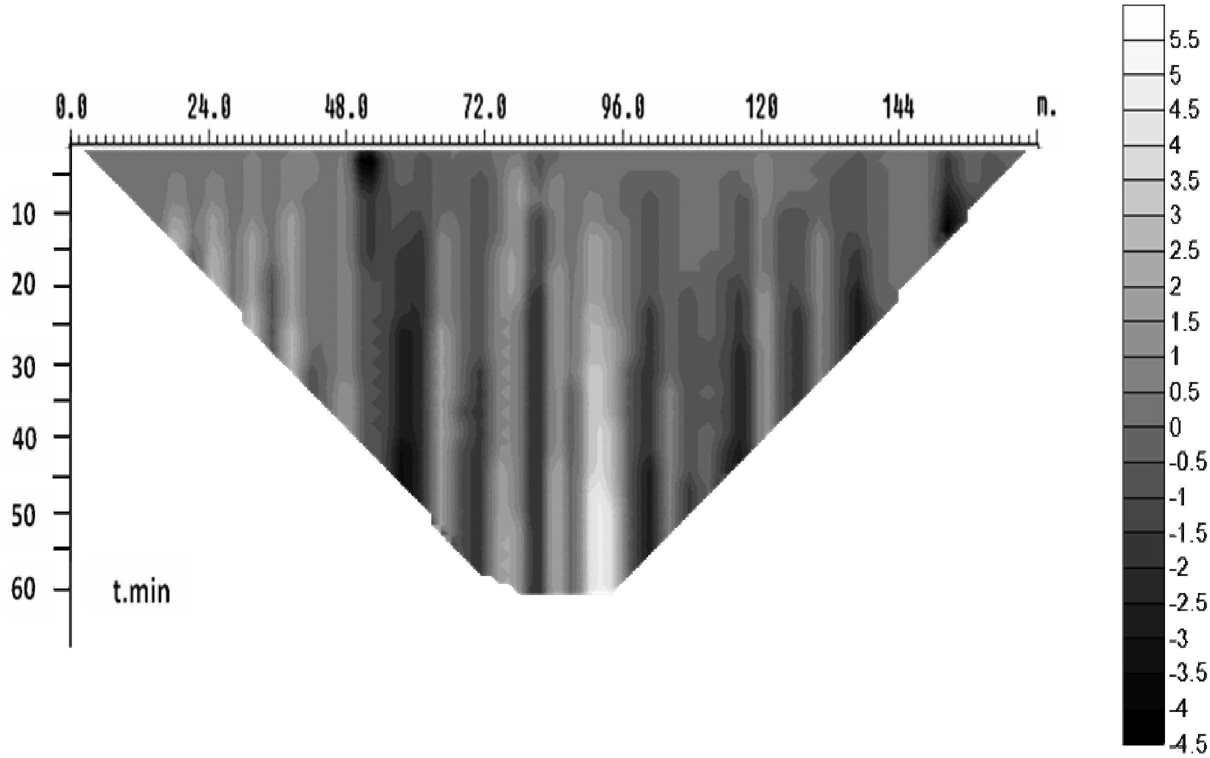
مقطع التغيرات النسبية بين الشهرين الخامس ٢٠٠٧ و الحادي عشر ٢٠٠٧مقدرا كنسبة مئوية



الشكل١٢-٦ مقطع التغير النسبي لقابلية الشحن المفسر بين الشهر الخامس و الحادي عشر ٢٠٠٧.

٤-٢-٦ نتائج قياسات الكمون الذاتي الطبيعي المرافق لسبر VES خلال الشهر الحادي عشر عام ٢٠٠٧ :

أعيد في هذا الشهر قياس الكمون الذاتي الطبيعي أثناء قيـــاس VES ورســـمت منحنيـــات تساوي تغير فرق الكمون الطبيعي لكل نقطة VES مع الزمن(الشكل ١٣-٦).



الشكل ١٣-٦ منحنيات تساوي تغير فرق الكمون الطبيعي مع الزمن في الشهر الحادي عشر.

نلاحظ على الشكل ١٣-٦ وجود شواذ تزداد عنده قيمة فرق الكمون الذاتي الطبيعي مـــع الزمن عند المسافة X=٩١ m حيث يبدأ ازدياد الكمون الذاتي الطبيعي عند الزمن t=١٠ min و يستمر حتى نهاية زمن القياس . و نلاحظ أيضا على يسار هذا الـــشاذ وجـــود نطاقات تتالى فيها انخفاض و ازدياد فرق الكمـــون الـــذاتي الطبيعـــي مـــن النقطـــة ٢٧ x=٨٢m حتى النقطة ٢٢ x=٦٦m ، و نلاحظ من النقطة ١٦ (x=٤٨m) إلى النقطـــة ٦ (x=١٨ m) وجود شاذ يتغير عنده تغير فرق الكمون الذاتي الطبيعي مـــع الـــزمن

بشكل كبير، بحيث أنه في هذه المنطقة يتناقص تغير الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن حتي يصل لقيمة أعظمية بالاتجاه السالب .

إذا ما قارنا مقطع تغير الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن مع مقطع المقاومية الكهربائية كما في الشكل ١٤-٦ نجد أن القطاع المنخفض المقاومية الكهربائية في منتصف السد X=٩٦m يتزايد عنده فرق الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن ، أما القطاع ذو المقاومية الكهربائية المنخفضة عند المسافة X=٤٨m يتناقص عندها فرق الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن .

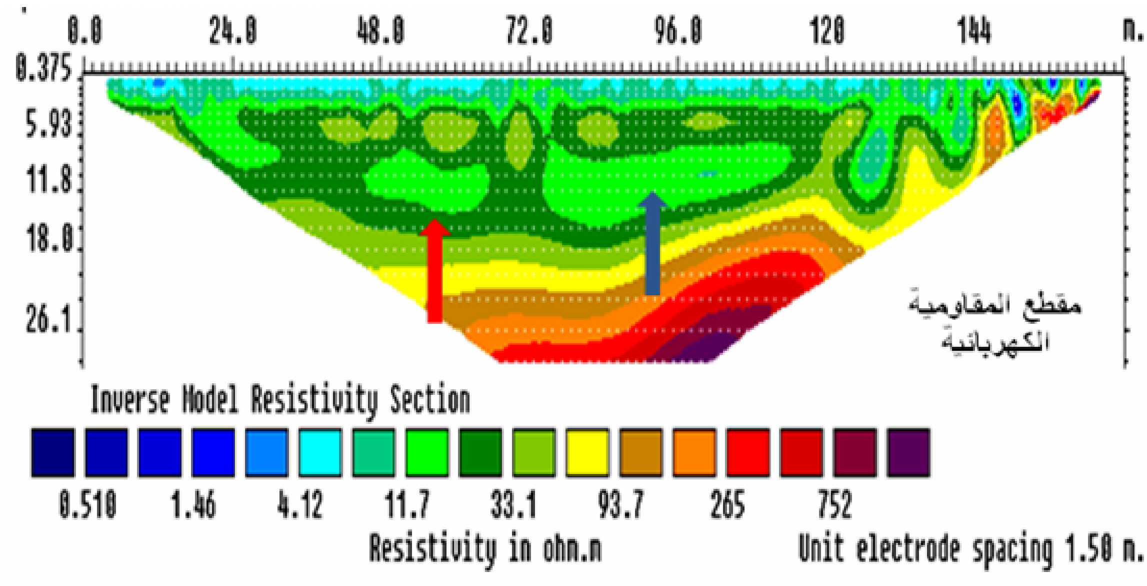
فالمناقشة السابقة تدلنا على وجود قطاعين لرشح المياه يمتد من X=٤٨m و حتى X٩٦m.

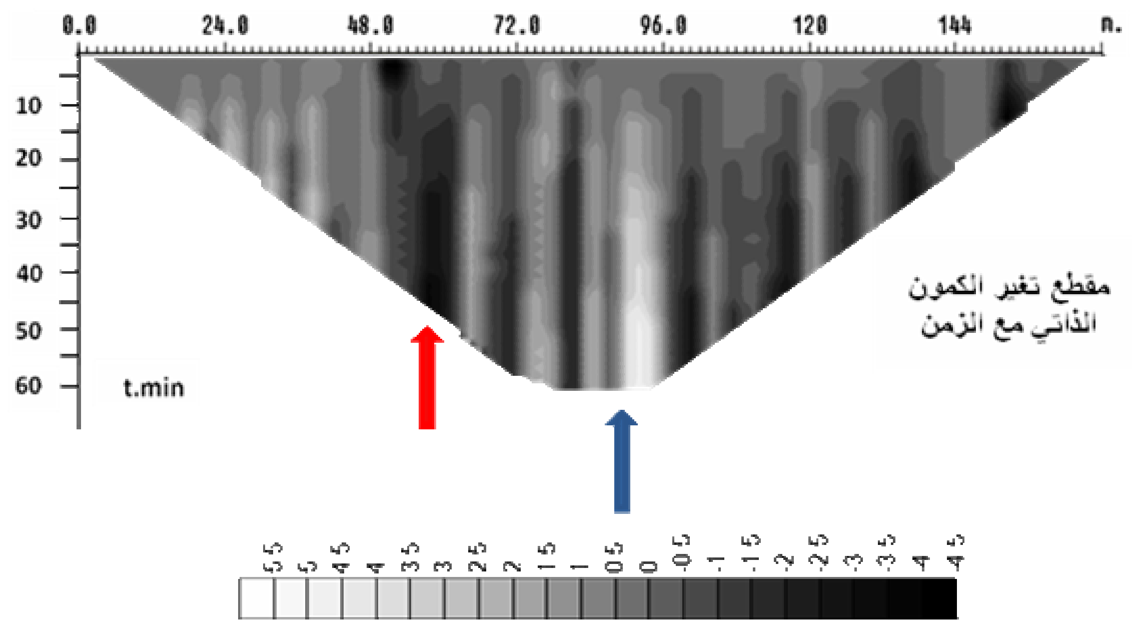
أما القطاع المنخفض المقاومية الكهربائية الممتد من X=٩٦→١٢٠m على عمق Z=١٠→١٢m فهو ناتج عن امتصاص الغضاريات القليلية الرطوبة للمياه الراشحة الداخلة لجسم السد عند النقطة X=٩٦m ، Z=١٢m في الشهر الخامس بتأثير الضغوط العالية، و بالتالي لا تولد فرق في الكمون .

لاحظنا على مقطع تغير الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن في الشهر الخامس في الشكل ٣-٦ أن قيمه تتراوح بين (**+٢٢mv** و **-١٤mv**)، أما على مقطع تغير الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن في الشهر الحادي عشر في الشكل ١٣-٨ فإن قيمه تتراوح بين (**٥,٥mv** و **-٣,٥mv**) .

و سبب النقص العام في قيم تغير الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن للمقطع بالقيمة المطلقة في الشهر الحادي عشر عنه في الشهر الخامس ناتج عن عاملين: العامل الرئيسي هو الانخفاض العام لقيم المقاومية الكهربائية للنواة الغضارية في الشهر ١١/٢٠٠٧ بسبب زيادة قيمة TDS عنها في الشهر ٥/٢٠٠٧ ، بحيث يتناسب الكمون الذاتي الطبيعي طردا مع المقاومية الكهربائية كما هو واضح في العلاقة ١٩-٢.

و العامل الآخر هو انخفاض منسوب مياه بحيرة التخزين في الشهر الحادي عشر ٢٠٠٧ عنه في الشهر الخامس ٢٠٠٧ و بالتالي انخفاض الضغوط الناتجه عنه و المؤثر على منطقة الشاذ ، و هذا يسبب نقصا في الكمون الذاتي الطبيعي حسب العلاقة ١٩-٢ ، و لكن تأثير منسوب مياه بحيرة التخزين يشمل فقط منطقة الشاذ ، و يكون تأثيره على انخفاض الكمون الذاتي الطبيعي العام مهملا بالمقارنة مع تأثير المقاومية الكهربائية .



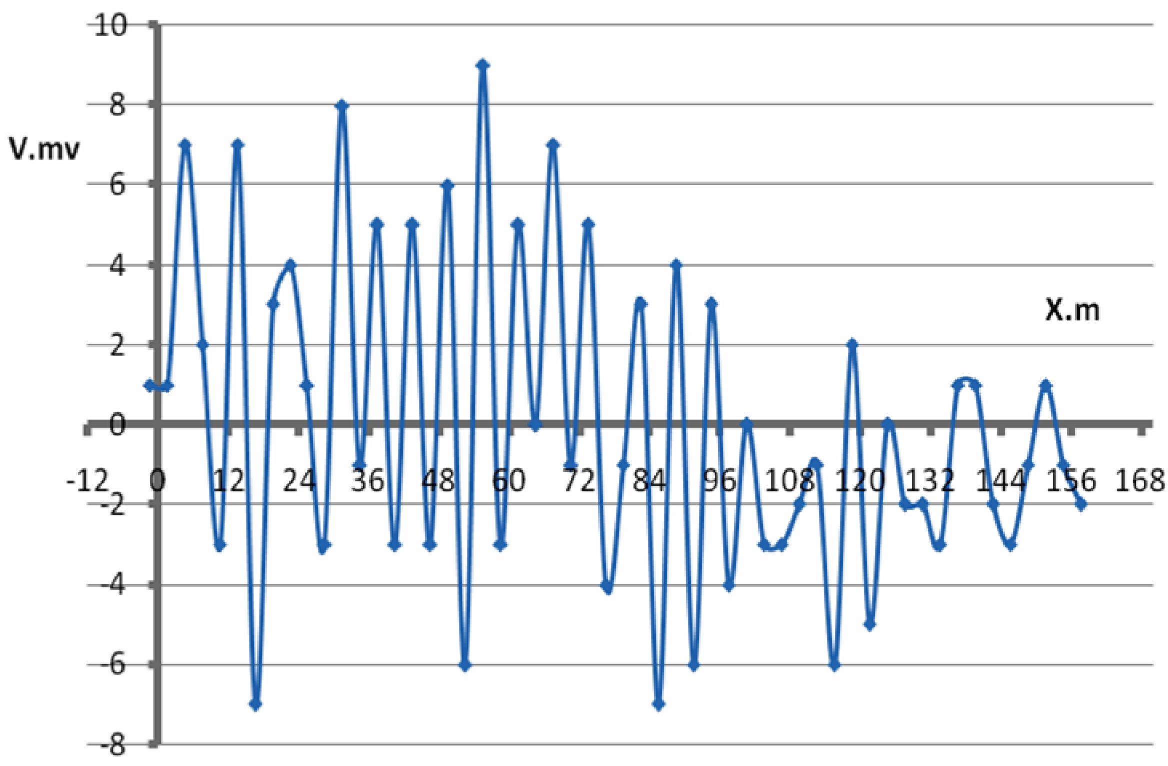


شكل ٦-١٤ مقارنة بين مقطع تغير الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن مع مقطع المقاومية الكهربائية المفسر في الشهر الحادي عشر من العام ٢٠٠٧

٥-٢-٦ مسح تدرج الكمون الذاتي :

نفذ مسح تدرج الكمون الذاتي ومثلت نتائجه على شكل منحني بياني . يمثل المحور الأفقي المسافة بين نقاط القياس مقدرة بالمتر ، مع إضافة نقطتين إضافيتين في بداية و نهاية خط القياس ، حيث حصلنا على ٥٦ نقطة قياس. و المحور العمودي يمثل فرق الكمون الطبيعي كما في الشكل ١٥-٦.

نلاحظ من منحني تدرج الكمون الذاتي الطبيعي العديد من التذبذبات الصاعدة و الهابطة ومن الصعب مقارنته مع بقية المعطيات الجيوكهربائية .

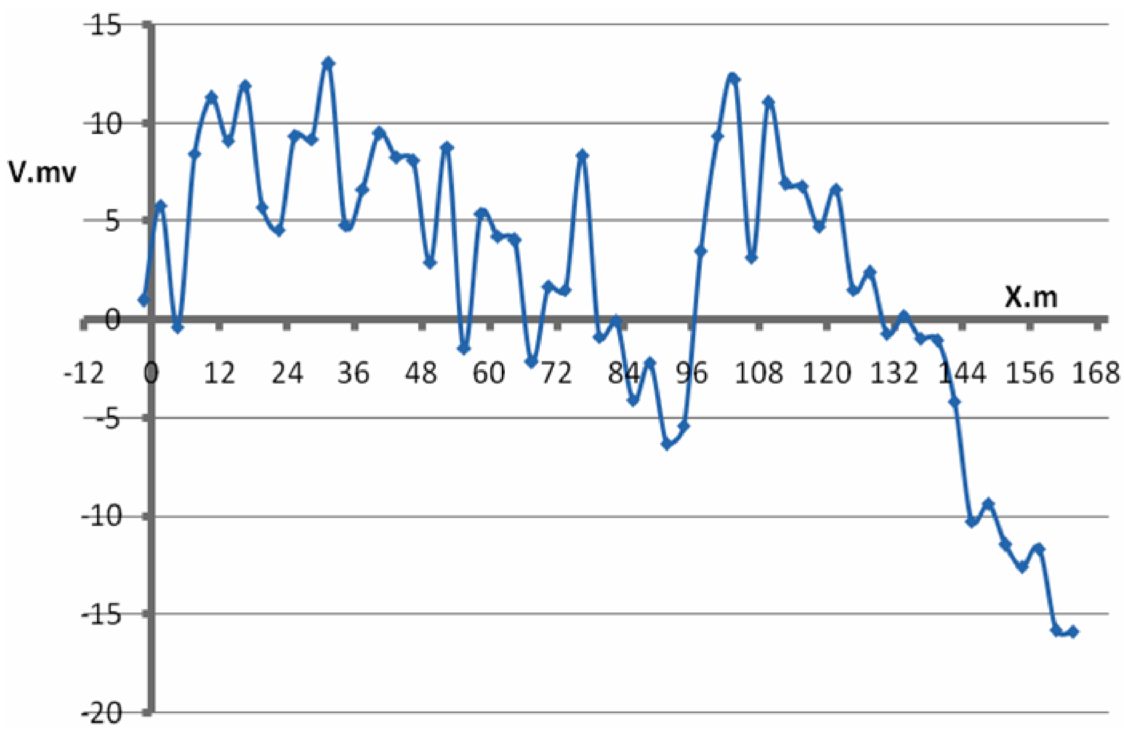


الشكل ١٥-٦ منحني تدرج فرق الكمون الطبيعي

٦-٢-٦ مسح الكمون الذاتي الطبيعي:

نفذ مسح الكمون الذاتي الطبيعي ومثلت قيمه على منحني بياني . يمثل المحـور الأفقـي المسافة بين نقاط القياس مقدرة بالمتر، مع إضافة نقطتين إضافيتين في بداية و نهاية خط القياس حيث حصلنا على ٥٦ نقطة قياس. و يمثل المحور العمودي فرق الكمون الـذاتي الطبيعي كما في الشكل١٦-٦.

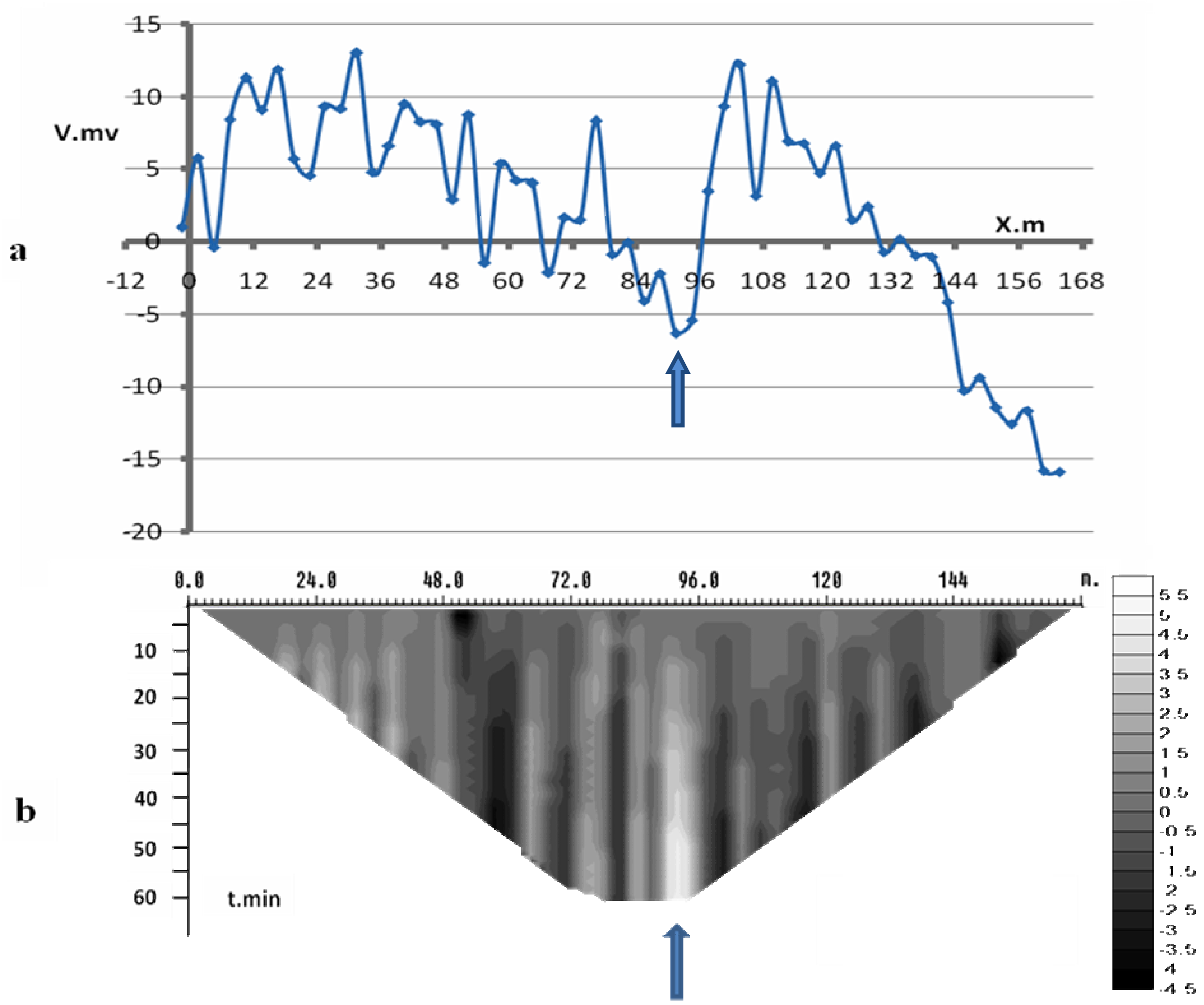
نلاحظ في الشكل١٦-٦ أن الكمون الذاتي الطبيعي أصبحت قيمنه منخفضة ٦mv- عنـد النقطة N=٣٣ أي عند المسافة x=٩٧m و ذلك يوافق منتصف جسم السد . كما نلاحـظ انخفاض في الكمون الذاتي الطبيعي من النقطة ٤٥ X=١٣٦ m و حتى نهاية جسم السد و هذا الانخفاض يكون ناتجا عن ميل لمنحني الكمون الذاتي الطبيعـي العـام للمنطقـة ، يمكن أن نلاحظ هذا الميل في منحني المسح الكمون الذاتي الطبيعي في الـشهر الرابـع ٢٠٠٨ في الشكل ٢٨-٦ ، أو قد يكون ناتجا عن رشوحات مياه في الكتف الأيمن للـسد لأن السد عمليا ينتهي عند المسافة X=١٤٤m.



الشكل ١٦-٦ منحني مسح الكمون الذاتي الطبيعي

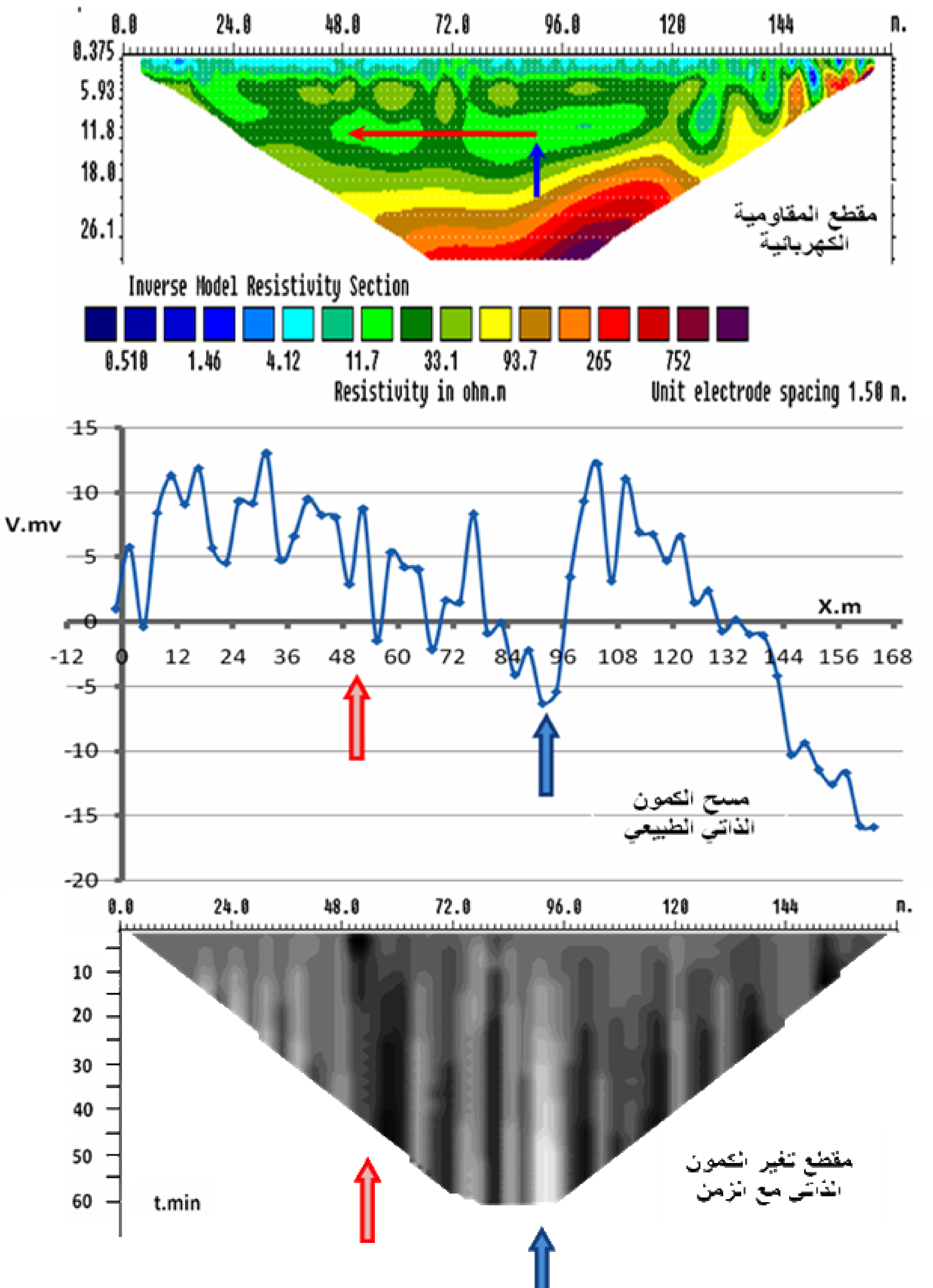
و بمقارنة هذا المنحني في الشكل ٦-١٦ مع منحنيات تساوي فرق الكمون الذاتي نجد أن الانخفاض في الكمون الذاتي الطبيعي في الشكل a-١٧-٦ المنفذ بطريقة مسح الكمون الذاتي يوافق الشاذ الذي فيه تناقص فرق الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن الواضح في الشكل b-١٨-٨. يشار للشاذ بسهم عريض على الشكل ١٧-٦.

يبدأ الكمون الذاتي الطبيعي على منحني مسح الكمون الذاتي بالتزايد عند N=٣٤ أي المسافة X=١٠٠ m وبالمقابل على المقطع يبدأ الكمون الذاتي الطبيعي بالتناقص مع الزمن عند نفس المسافة حتى المسافة X=١٢٠m . و يأخذ منحني الكمون الذاتي الطبيعي قيمة أعظمية، بينما يتناقص مع الزمن ليأخذ قيمة سالبة .



الشكل ١٧-٦ : a- مسح الكمون الذاتي b– مقطع تغير الكمون الذاتي مع الزمن

و إذا ما قارنا بروفيل مسح الكمون الذاتي الطبيعي السابق مع مقطع تغير الكمون الـــذاتي الطبيعي مع الزمن و مقطع المقاومية الكهربائية المفسر الشكل١٨-٦ نلاحــظ أن الــشاذ السالب للكمون الذاتي الطبيعي عند المسافة x=٩٣m يقابل مركز الشاذ الأفقي المنخفض المقاومية الكهربائية و يقابل القطاع من مقطع تغير الكمون الذاتي مع الزمن الذي يـــزداد فيه تغير الكمون الذاتي مع الزمن(مشار إليه في الشكل بسهم أزرق)، أما القمة الموجبـــة من الكمون الذاتي الطبيعي على يسار الشاذ السالب تقابل القطاع من مقطع تغير الكمـــون الذاتي الطبيعي مع الزمن و الذي يتناقص فيه فرق الكمون الذاتي الطبيعي مع الـــزمن و تقابل نهاية الشاذ الأفقي المنخفض المقاومية الكهربائية (مشار إليه بسهم أحمر في الشكل)، و بالتالي لايوجد أية تفسير منطقي لشاذ الكمون الذاتي الطبيعي هذا إلا أن مياه بحيرة السد ترشح إلى جسم السد و ذلك عند مركز الشاذ الأفقي المنخفض المقاومية الكهربائية عنـــد المسافة x=٩٣m ، و عمق z=١٢m و ترشح إلى باتجاه اليسار حتى x=٥٠m بـــشكل أفقي (يشار إلى إتجاه رشح المياه على مقطع المقاومية الكهربابة المفسر بسهم من اللون الأحمر) .



الشكل١٨-٦ مقارنة بين مقطع المقاومية الكهربائية و برفيل الكمون الذاتي الطبيعي و مقطع تغير الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن

٧-٢-٦ حساب الكمون الذاتي الطبيعي باستخدام علاقة (Bhattacharya , Roy) :

إذا فرضنا ان شكل منطقة دخول مياه البحيرة إلى جسم السد الموجودة عند X=٩٦، Z=١٢m عبارة عن أسطوانة أفقية كما في الشكل١٩-٦، نستطيع حساب الكمون الذاتي الطبيعي الناتج عن هذه الأسطوانة من خلال تطبيق علاقة ***(Bhattacharya and Roy.(١٩٨١))***، و مقارنة الكمون الذاتي الطبيعي المحسوب مع نتائج مسح الكمون الذاتي الطبيعي المقاس في الحقل للتأكد من شكل و الأبعاد الهندسية للشاذ المفروض.

تبين أن البارمترات التالية تعطي أفضل تطابق بين الكمون المقاس في الحقل والمحسوب:

عمق الأسطوانة :١٢m

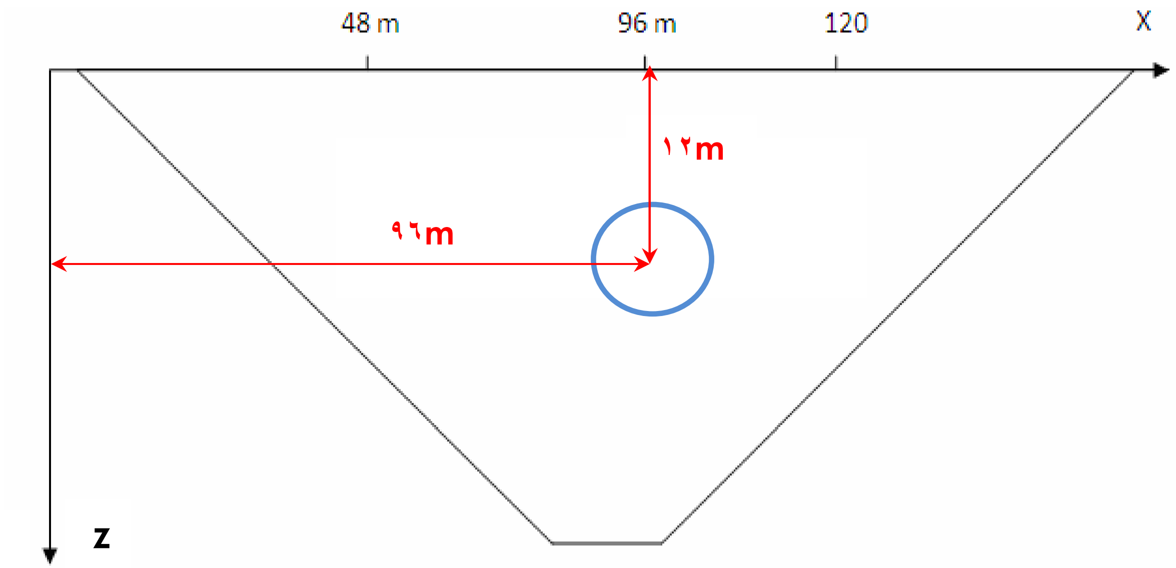
بعد الأسطوانة عن مبدأ الإحداثيات : ٩٦m

زاوية الاستقطاب : ٠ درجة

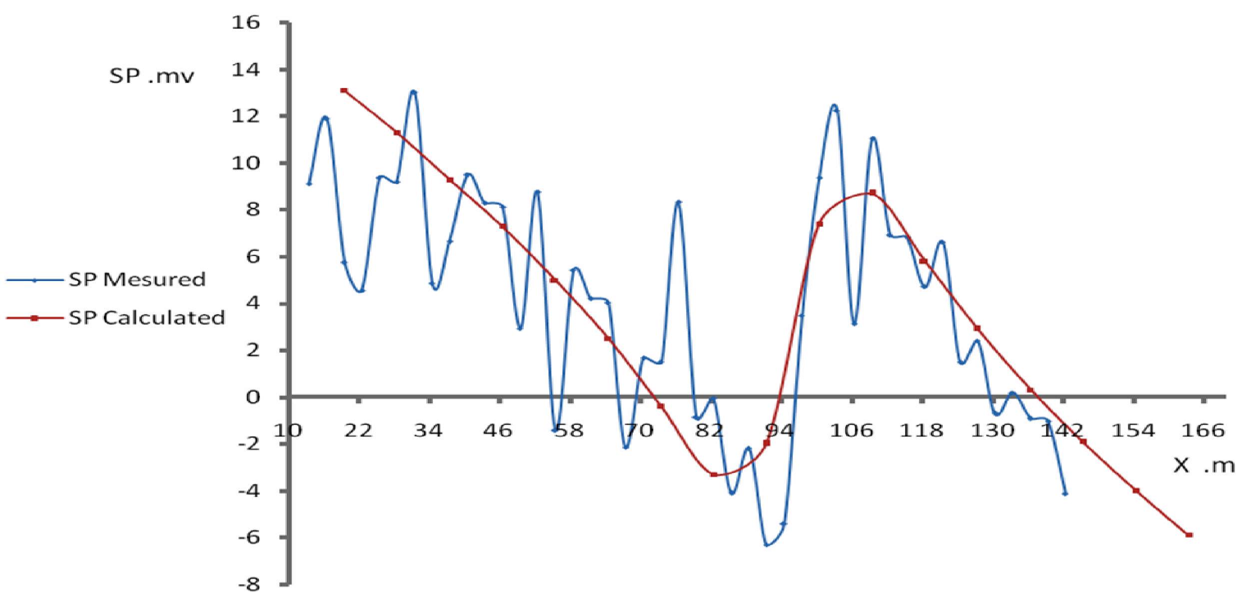
ميل منحني الكمون الذاتي الطبيعي العام : ٠,١٧-

عزم ثنائي القطب : ٢٠٠mv.

إذا ما قارنا الكمون الطبيعي الذاتي المقاس في الحقل مع الكمون الذاتي الطبيعي المحسوب و المبينين في الشكل ٢٠-٦ نجد تطابقا كبيرا بينهما ، مما يعني أن الأبعاد الهندسية للشاذ المستنتجة من القياسات الجيوكهربائية (X=٩٦m و Z=١٢m) مقبولة إلى حد كبير.



الشكل ١٩-٦ رسم تخطيطي للأسطوانة الأفقية الممثلة لمنطقة دخول مياه البحيرة إلى جسم السد



الشكل ٢٠-٦ رسم تخطيطي للأسطوان الأفقية الممثلة لمنطقة دخول مياه البحيرة إلى جسم السد

٣-٦ تفسير نتائج قياسات الشهر الرابع من العام٢٠٠٨:

كان منسوب البحيرة خلال هذه الفترة ينخفض ٩m عن قمة السد .

درجة حرارة مياه البحيرة : T=٢١ C°

تركيز الأملاح المنحلة في مياه البحيرة: TDS=١٠٥mg/L

١-٣-٦ تفسير مقطع المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن الظاهرية لقياسات الشهر الرابع :

كان منسوب مياه البحيرة في هذا الشهر ينخفض ٩m عن قمة السد و بالتالي عمق منسوب مياه البحيرة قريب من عمق الشاذ عن قمة السد و الذي يكون بحدود١٥m-١٢.

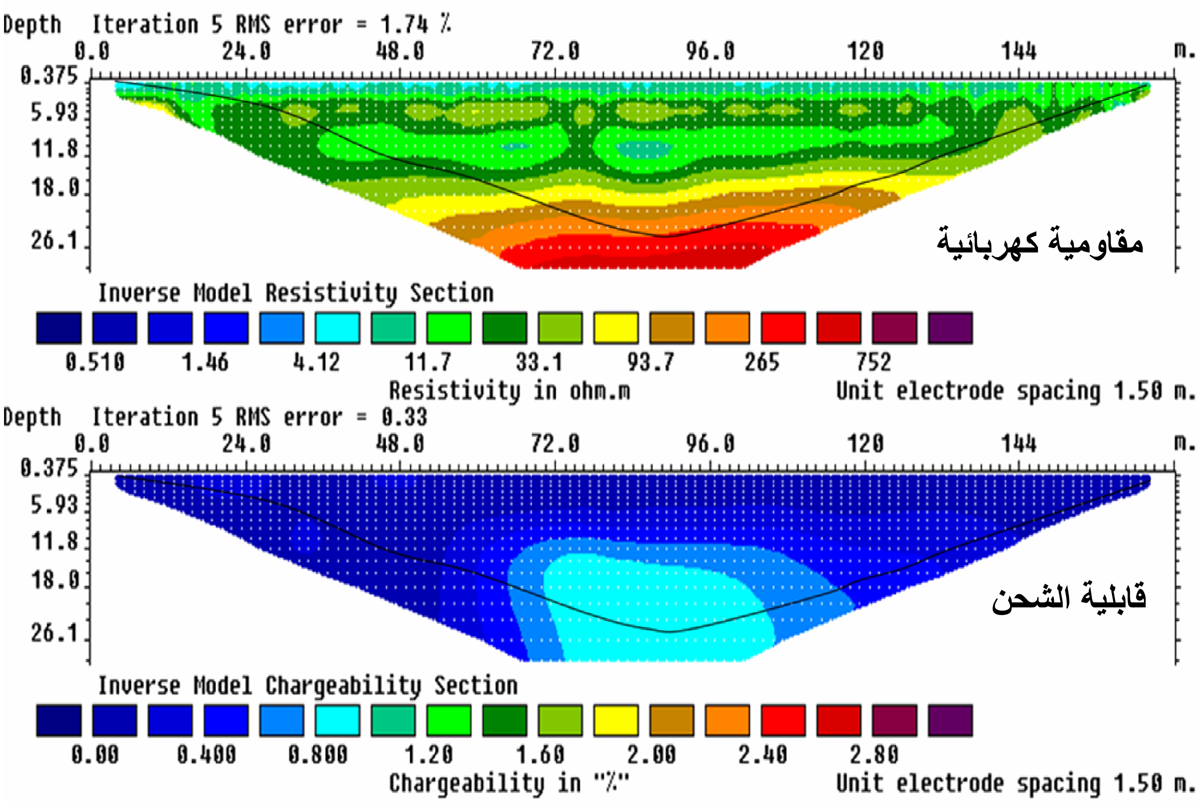
يبين الشكلان ٦-٢١ و ٦-٢٢ مقاطع المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن المفسر .

نلاحظ على مقطعي المقاومية المفسرين بطريقة نمذجة التفسير الناعم و الخشن أنهما متشابهان في الشكل العام إلا أن الاختلافات بين المقطعين تظهر في أن المقطع المفسر بطريقة نمذجة التفسير الخشن يكون أكثر خشونة و يبدي حدود خشنة أكثر بين القطاعات المختلفة المقاومية الكهربائية . و أما مقطع المقاومية الكهربائية الناتج عن نمذجة التفسير الناعمة يبدي حدودا بين القطاعات المختلفة المقاومية الكهربائية أكثر نعومة من المقطع الخشن . و نعتبر هذا هو الشكل الأكثر ملائمة لمقطع المقاومية الكهربائية الذي يعبر عن نواة غضارية لجسم سد ، حيث الحدود الفاصلة بين قطاعات الغضار المختلفة المقاومية الكهربائية تكون ناعمة و ليست خشنة .

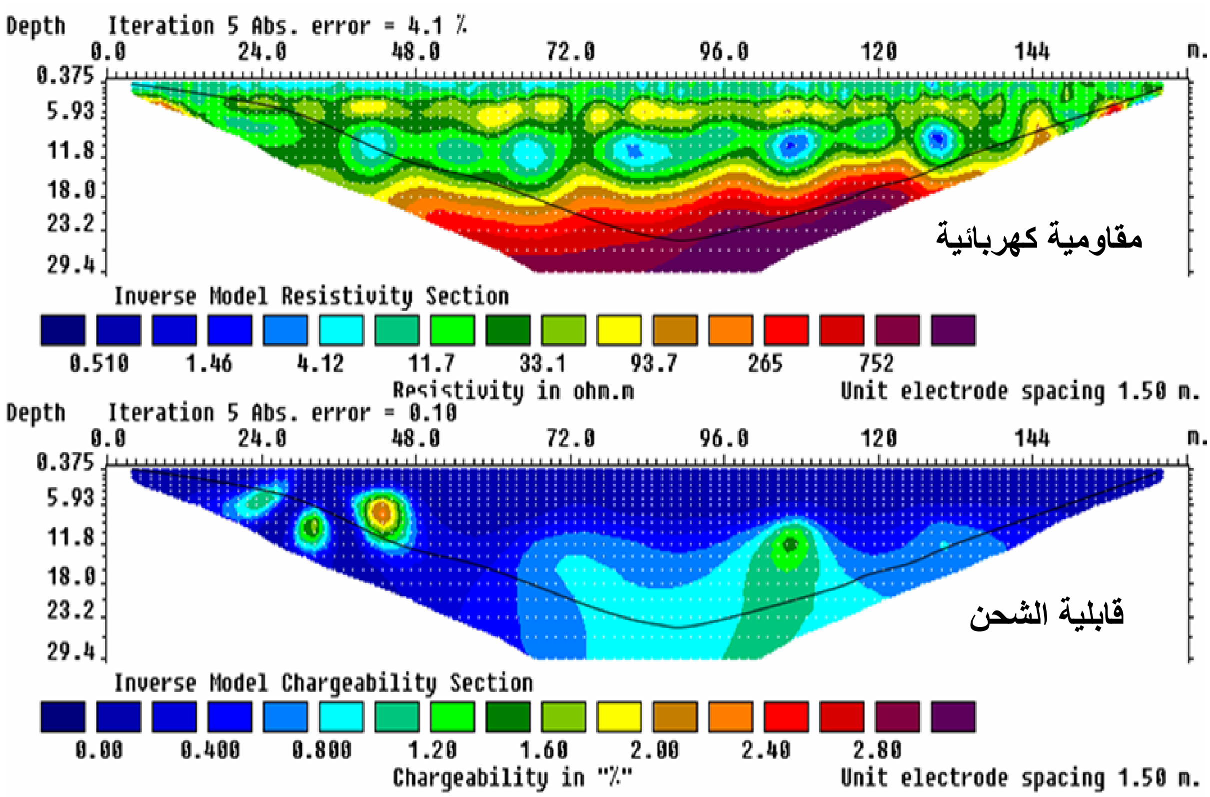
بالنسبة لمقطعي قابلية الشحن المفسر نلاحظ تشابه في الشكل العام لمقطع **قابلية الشحن** في كلتا الحالتين مع ملاحظة و جود إختلاف بسيط ، و هو وجود شواذت بأحجام صغيرة عالية قابلية الشحن على عمق من ٦m إلى ٩m ممتدة ضمن المسافة x=٢٥m→٤٨m و تقابل شواذ منخفضة المقاومية الكهربائية في مقطع المقاومية الكهربائية المفسر بنمذجة التفسير الخشن على الحد الفاصل بين النواة البازات أو خارج النواة الغضارية ، و هذا الاختلاف قد يكون ناتجا عن تشويش خارجي طبيعي أو صنعي المؤثرة على أجهزة القياس ، لكن الاختلاف السابق الذكر يبقى صغيرا و لا يؤثر بشكل كبير على ملامح مقطع قابلية المفسر و شكل الشاذ العام . و بالتالي نكون قد تأكدنا من أن التشويش المؤثرة على مقاطع المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن ليس كبيرا .

-نلاحظ على مقطع المقاومية الكهربائية وجود شاذ منخفض المقاومية الكهربائية هنا من مرتبة ٢٠Ωm على شكل طبقة كاملة نتيجة انخفاض منسوب مياه بحيرة السد لعمق ٩m عن قمة السد . و هو عمق قريب من عمق الشاذ بالنسبة لقمة السد . و بالتالي تخف الضغوط الناتجة عن مياه بحيرة السد و ترشح المياه الموجودة في جسم السد باتجاه النطاقات القليلة الرطوبة، بتأثير امتصاص الغضار لها ، و بالتالي تتوسع هالة الشاذ المنخفض المقاومية الكهربائية لتشكل طبقة كاملة على طول السد و تنقص مقاوميتها الكهربائية قليلا ، و تتوقف هنا حركة المياه الراشحة بتأثير الضغوطات الناتجة عن مياه بحيرة السد .

بالنسبة لقابلية الشحن نلاحظ وجود قطاع ممتد ضمن المسافة X=٧٢m→١٢٠m يتزايد فيه قابلية الشحن عند عمق الشاذ Z=١٢m تدريجيا حتى نهاية السد ، وهذا القطاع يقابل على مقطع المقاومية الكهربائية المفسر الشاذ المنخفض المقاومية الكهربائية و هذا دليل على انخفاض رطوبة الشاذ هنا مما أدى إلى ارتفاع قابلية شحنه مشكلا شاذا واضحا مرتفع قابلية الشحن على مقطع قابلية الشحن المفسر، و بالتالي نستنتج أن رطوبة هذا القطاع من السد من السد تتأثر بمنسوب مياه بحيرة التخزين و الضغوط المطبقة من قبلها على جسم السد .



شكل ٢١-٦ مقاطع المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن المفسر باستخدام نمذجة التفسير الناعم



الشكل ٢٢-٦ مقاطع المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن المفسر باستخدام نمذجة التفسير الخشن

٢-٣-٦ مقطع التغير النسبي للمقاومية الكهربائية المفسرة بين الشهرين الحادي عشر من العام ٢٠٠٧ و الرابع من العام ٢٠٠٨ :

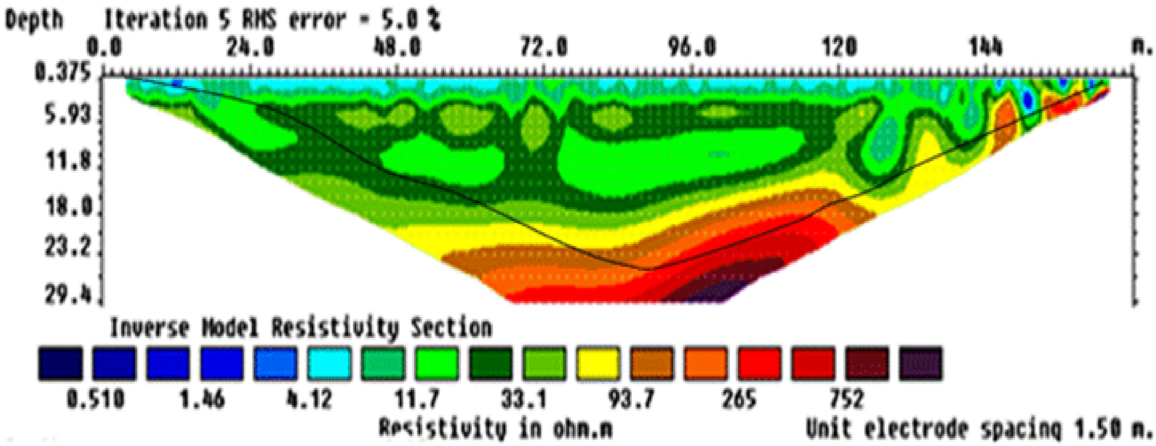
كان تركيز الأملاح المنحلة و درجة حرارة العينات السطحية المأخوذة من بحيرة السد في كلا الشهرين كما يلي :

$T_{٤,٢٠٠٨} = ٢١\ C^{o}$, $TDS_{٤,٢٠٠٨} = ١٠٥\ mg\backslash L$ $T_{١١,٢٠٠٧} = ٨\ C^{o}$, $TDS_{١١,٢٠٠٧} = ١٤٣\ mg\backslash L$

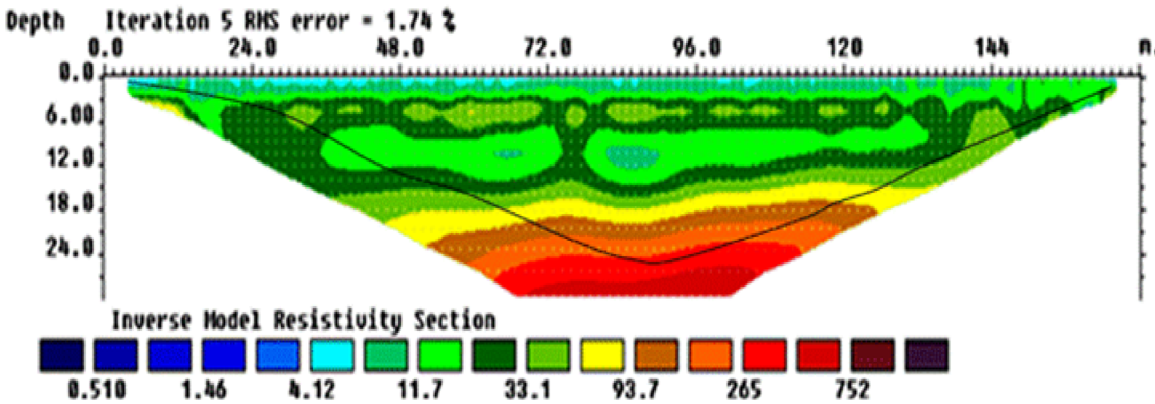
نلاحظ انخفاض المقاومية الكهربائية في الشهر الرابع ٢٠٠٨ بالنسبة للشهر الحادي عشر ٢٠٠٧ في مجمل السد في مقطع التغير النسبي للمقاومية الكهربائية (شكل ٢٣-٦)، و يمكن أن نفسر ذلك بانخفاض قيمة تركيز الأملاح المنحلة TDS في مياه بحيرة التخزين الممتد ضمن النواة في الشهر ٤/٢٠٠٨ بالمقارنة مع الشهر ١١/٢٠٠٧. تكون قيمة الزيادة في المقاومية الكهربائية متجانسة في مجمل السد عدا القطاع الواقع على عمق ١٦m و Z=١٧m ، حيث نلاحظ ازدياد كبير في قيمة المقاومية الكهربائية فيها، ولا يمكن أن نعزو هذا الازدياد الكبير في المقاومية الكهربائية إلى تركيز الأملاح، بل يفسر بأن رطوبة هذا القطاع في الشهر الحادي عشر كانت عالية نتيجة تأثرها برطوبة الشاذ الرئيسي، (لاحظ مقطع المقاومية الكهربائية المفسر في الشهر ١١/٢٠٠٧)، فعند انخفاض منسوب مياه بحيرة التخزين و نقصان الضغوط الناتجة عنها في الشهر الرابع انخفضت رطوبة هذا القطاع بشكل ملحوظ مما أدى إلى زيادة مقاوميتها الكهربائية في الشهر ٤/٢٠٠٨ .

نلاحظ على مقطع التغير النسبي هنا مجموعة من القطاعات الصغيرة، و التي تتناقص مقاوميتها الكهربائية المفسرة في هذا الشهر نتيجة امتصاص الغضاريات قليلة الرطوبة للمياه الراشحة، و هذه الشواذ تمتد على شكل طبقة أفقية تقريبا من X=٤٠m→١١٠m و على عمق Z=١٠→١٦m.

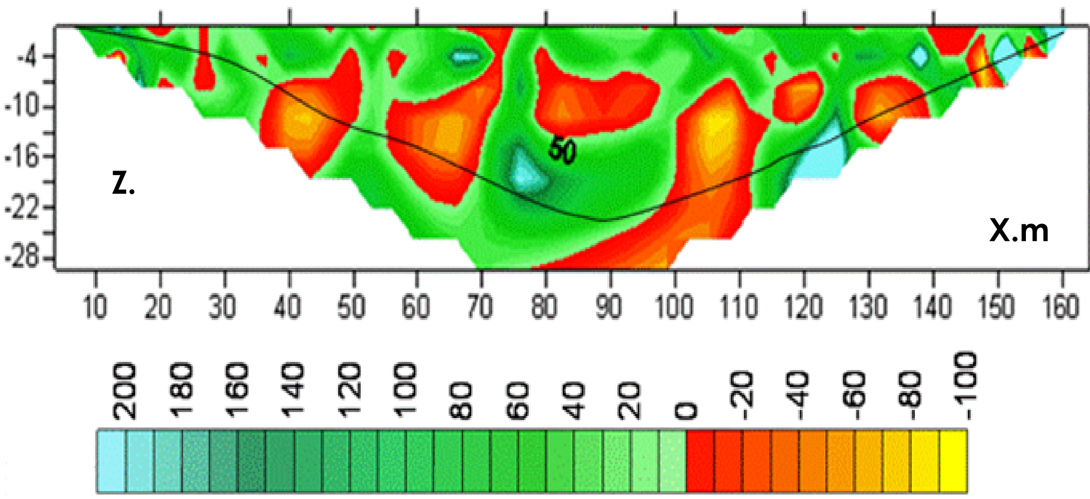
مقطع المقاومية الكهربائية المفسر في الشهر الحادي عشر ٢٠٠٧



مقطع المقاومية الكهربائية المفسر في الشهر الرابع ٢٠٠٨



مقطع التغيرات النسبية بين الشهرين الحادي عشر ٢٠٠٧ و الرابع ٢٠٠٨ مقدر (%)

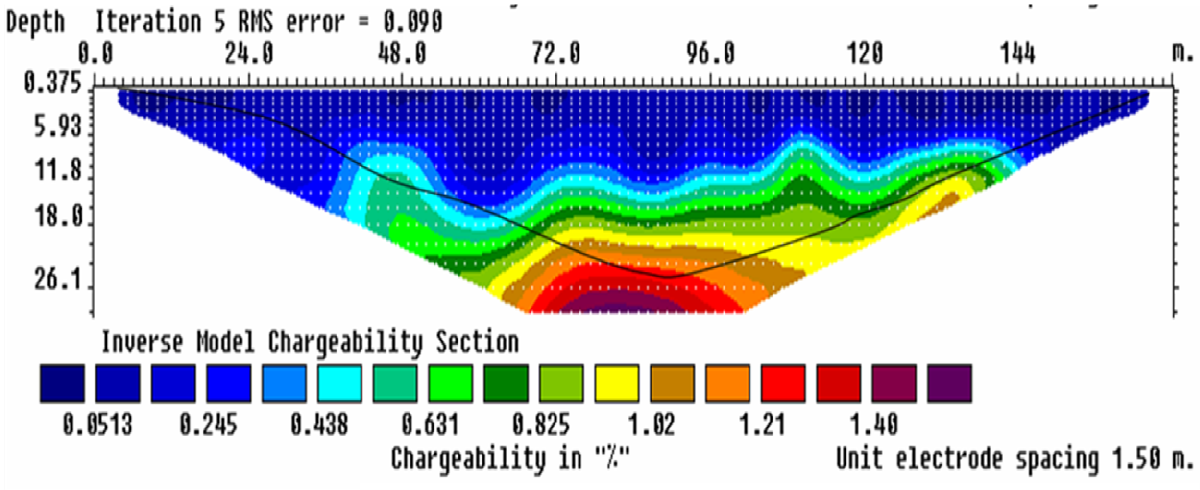


الشكل ٢٣-٦ مقطع التغير النسبي للمقاومية الكهربائية المفسر من الشهر الحادي عشر٢٠٠٧ إلى الشهر الرابع ٢٠٠٨

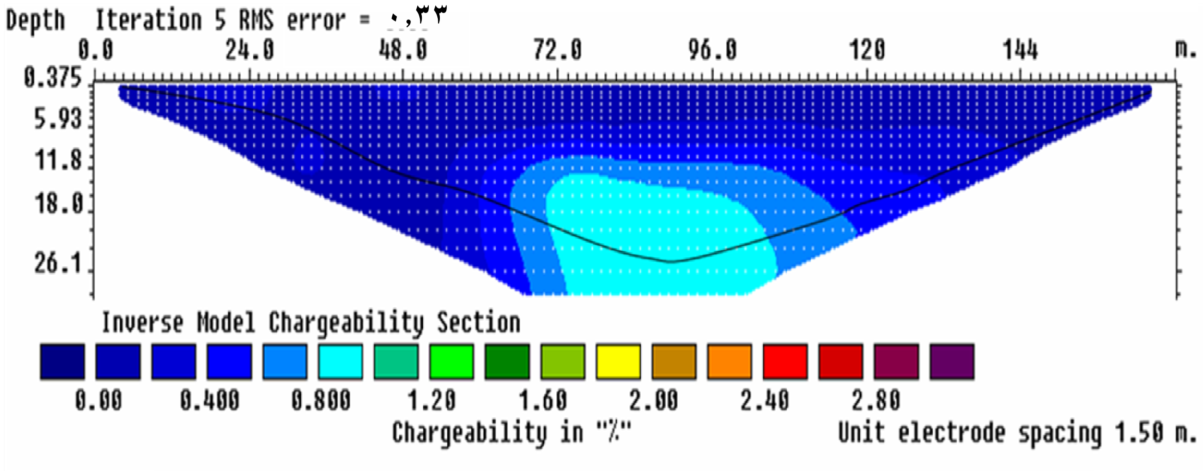
٣-٣-٦ مقطع التغير النسبي لقابلية الشحن المفسر بين الشهرين الحادي عشر من العام ٢٠٠٧ و الرابع من العام ٢٠٠٨ :

كما ذكرنا سابقا في هذا الشهر تم ملاحظة انخفاض منسوب مياه بحيرة التخزين و بالتالي انخفاض الضغوط الناتجه عنه و المؤثرة على المياه الراشحة ضمن جسم السد ، الأمر الذي يجعل ، المياه الراشحه ضمن جسم السد تتجه نحو الغضاريات القليلة الرطوبة بنتيجة امتصاص الغضاريات لها، تكون رطوبة جسم السد الكلية نتيجه لذلك متساوية تقريبا ، فالشاذ العالي الرطوبة و الملاحظ في الشهرين الخامس و الحادي عشر ٢٠٠٧ تنخفض رطوبته و ترتفع رطوبة النطاق قليل الرطوبة المحيط به ليصبح كامل النطاق ذات رطوبه واحدة ، بالتالي نلاحظ في هذا الشهر على مقطع التغير النسبي لقابلية الشحن (شكل-٦-٢٤) ارتفاع قابلية شحن لنطاق الشاذ الملاحظ في الشهرين السابقين X=٦٠→١٠٠m من السطح وحتى عمق Z=١٦m مشكلا قطاعا واحد. أما النطاق الممتد من X=٤٠→٧٠m و الذي يشكل جزء من الشاذ الأفقي المنخفض المقاومية الكهربائية في مقطعي المقاومية الكهربائية المفسر في الشهرين الحادي عشر من ٢٠٠٧ و الرابع من ٢٠٠٨، فنلاحظ ارتفاع قابلية شحنه و قد يكون السبب امتصاص هذا القطاع للرطوبة الموجودة في النطاق المجاور X=٦٠→١٠٠m ذو الرطوبة الأعلى ، بحيث نلاحظ على مقطع تغيرات النسبية للمقاومية (الشكل ٦-٢٣) انخفاض المقاومية الكهربائية عند هذالنطاق (X=٤٠→٧٠m ، Z=١٢m) ، و امتصاص المياه الراشحة في الشهر الرابع لهذا القطاع قد يكون ناتج عن انخفاض رطوبته (الأقل من ٢٠٪) في الشهر الحادي عشر عندما خف منسوب مياه بحيرة التخزين. و نلاحظ انخفاض قابلية الشحن في بقية أجزاء السد و قد يكون ذلك نتيجة ارتفاع مقاوميتها الكهربائية ، أما ارتفاع قابلية الشحن في بعض الأجزاء السطحية فعلى الأرجح أن يكون ناتجا عن تأثير عوامل الجو الخارجية .

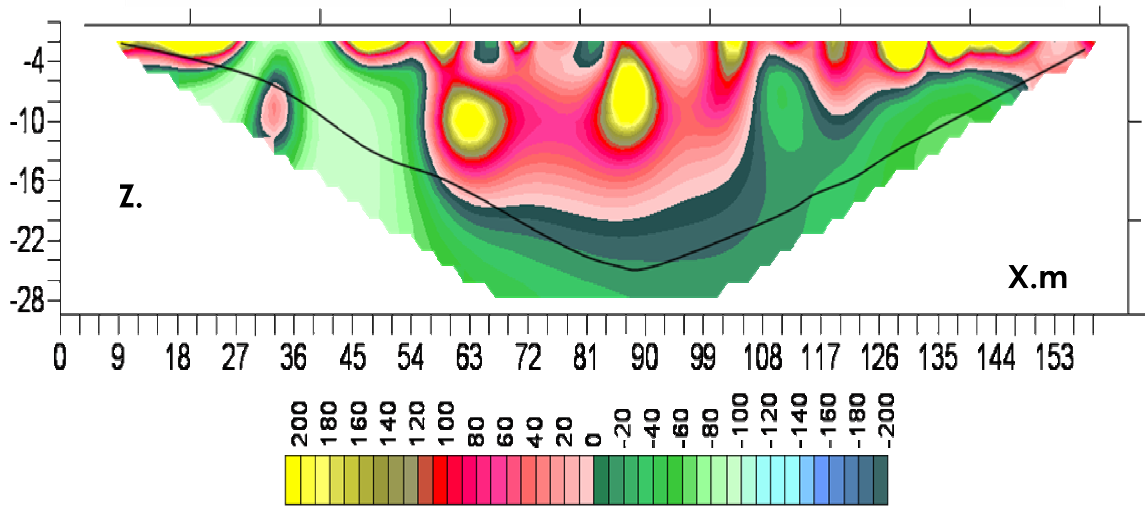
مقطع قابلية الشحن المفسر في الشهر الحادي عشر ٢٠٠٧



مقطع قابلية الشحن المفسر في الشهر الرابع ٢٠٠٨



مقطع التغيرات النسبية بين الشهرين الحادي عشر ٢٠٠٧ و الرابع ٢٠٠٨ مقدر (%)



الشكل٤ ٢-٦ مقطع التغير النسبي لقابلية الشحن المفسر من الشهر الحادي عشر ٢٠٠٧ إلى الشهر الرابع ٢٠٠٨

٤-٣-٦ مقطع التغير النسبي للمقاومية الكهربائية المفسرة بين الشهرين الخامس من العام ٢٠٠٧ و الرابع من العام ٢٠٠٨ :

كان تركيز الأملاح المنحلة و درجة حرارة العينات السطحية المأخوذة من بحيرة السد في كلا الشهرين كما يلي :

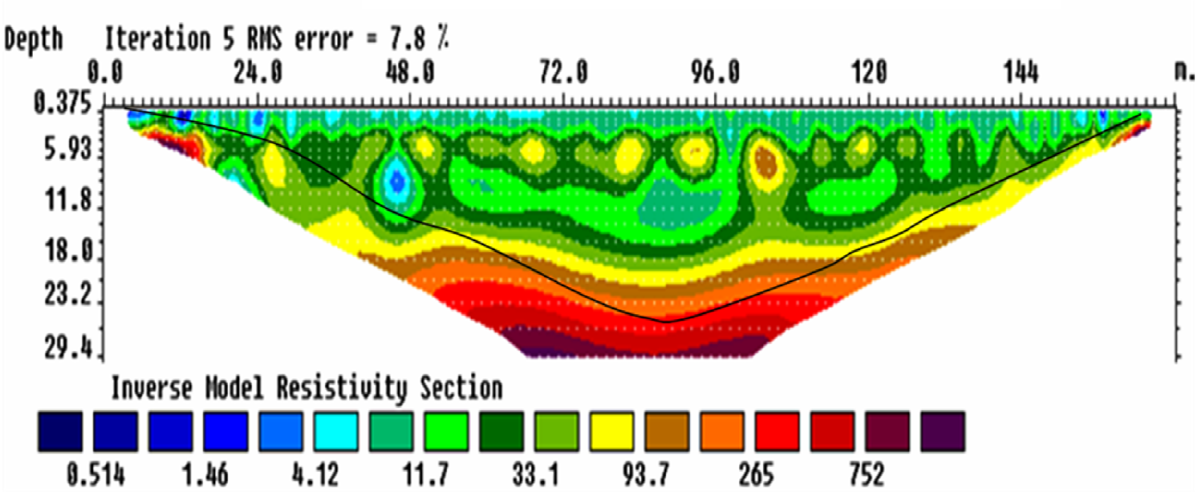
$$T_{٤,٢٠٠٨} = ٢١\, C^{o} ,\ TDS_{٤,٢٠٠٨} = ١٠٥\, mg \backslash L \qquad T_{٥,٢٠٠٧} = ٢٢ C^{o} ,\ TDS_{٥,٢٠٠٧} = ١٢٤\, mg \backslash L$$

إذا ما نظرنا للمقطع المعبر عن التغير النسبي للمقاومية الكهربائية المفسرة بين الشهرين الخامس من الشهر٢٠٠٧ و الشهر الرابع من عام ٢٠٠٨ (شكل٢٥-٦) نلاحظ ازدياد المقاومية الكهربائية في مجمل السد في الشهر الرابع ٢٠٠٨٥، و على الأرجح أن يكون هذا الازدياد ناتجا عن نقصان تركيز الأملاح المنحلة في مياه بحيرة التخزين في الشهر الرابع ٢٠٠٨ بالنسبة للشهر الخامس ٢٠٠٧. ولكن نلاحظ قطاعين تزداد فيهما المقاومية الكهربائية في الشهر الرابع ٢٠٠٨ بشكل كبير جدا، في حين أن الازدياد في باقي القطاعات يكون ثابتا تقريبا. يقع القطاع الأول على مسافة X=٩٥m ، Z=١٢-١٦m و القطاع الثاني X=١٢٠m ، Z=١٢-١٦m. يقابل القطاع الواقع في X=٩٥m،Z=١٢-١٦m منطقة دخول مياه البحيرة إلى جسم السد و بالتالي انخفاض مياه بحيرة التخزين و الضغوط الناتجة عنها أدى إلى نقصان درجة إشباع هذه المنطقة والازدياد الكبير بالمقاومية. ويمكن تفسير ازدياد المقاومية الكهربائية في القطاع الآخرX=١٢٠m ، Z=١٢-١٦m بالرطوبة العالية في الشهر الخامس ٢٠٠٧ و المأخوذة من الشاذ الرئيسي (منطقة دخول مياه البحير للنواة الغضارية). تنخفض رطوبة هذا القطاع في الشهر الرابع ٢٠٠٨ نتيجة انخفاض مياه البحيرة و الضغوط الناتجة عنها و تزداد بالتالي مقاوميتهما الكهربائية بشكل كبير .

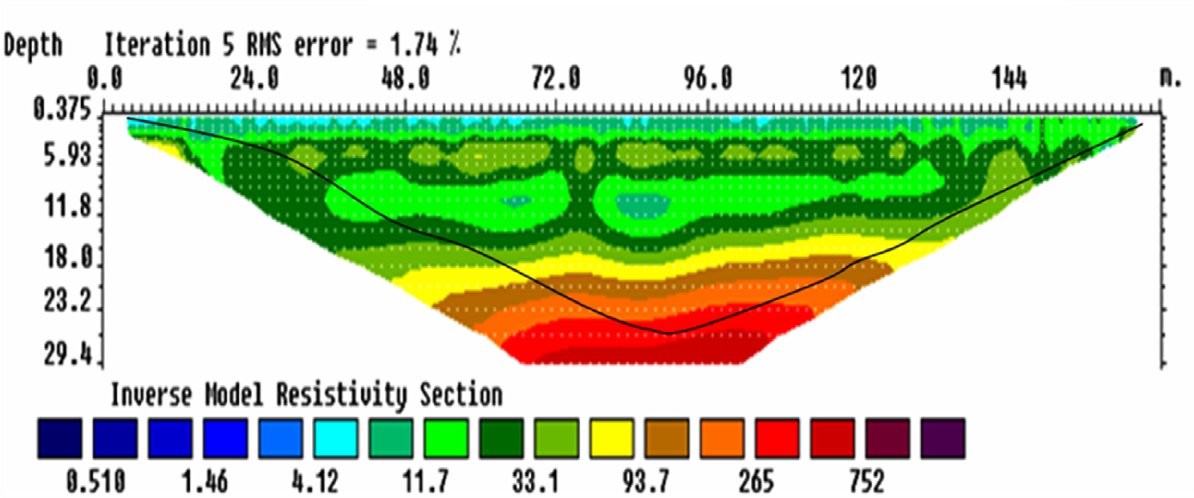
نلاحظ أيضا على مقطع التغير النسبي قطاعات صغيرة منتشرة على جسم السد تتناقص فيها المقاومية الكهربائية ، يمكن تفسير تتناقص المقاومية الكهربائية للقطاعات السطحية الواقعة على أعماق منخفضة بتأثير عوامل الجو الخارجية عليها. أما القطاعات الواقعة على أعماق أكبر، يحتمل انها كانت غضاريات قليلية الرطوبة في الشهر ٥/٢٠٠٧ ، وامتصت المياه الراشحة من القطاعات المجاورة لها عند انخفاض منسوب مياه البحيرة في الشهر ٤/٢٠٠٨ مما أدى إلى نقصان مقاوميتها الكهربائية .

و نلاحظ هنا كيف أن مقطع التغير النسبي يظهر الحد فاصل بين النواة الغضارية و البازلت بشكل واضح .

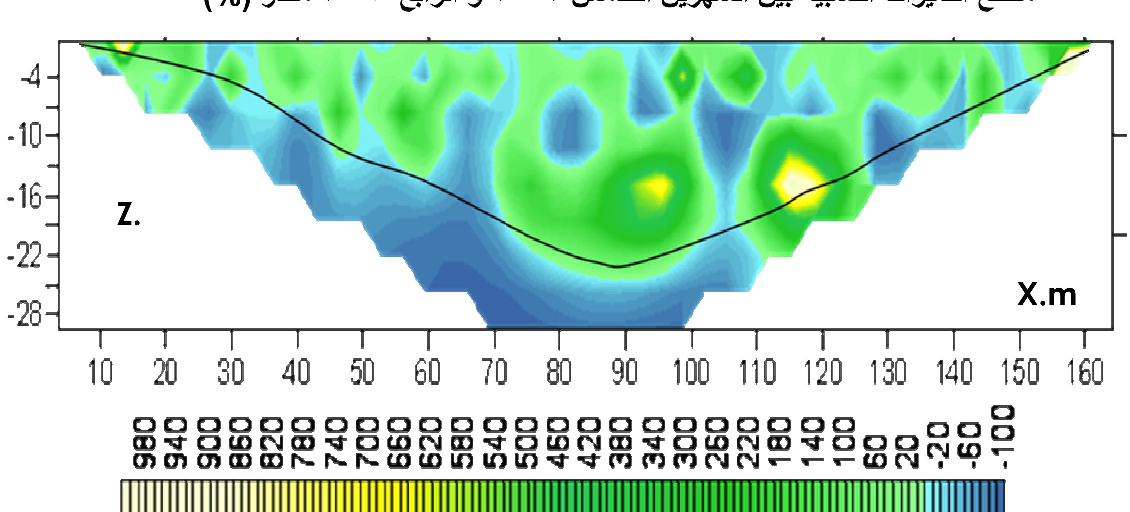
مقطع المقاومية الكهربائية المفسر في الشهر الخامس ٢٠٠٧



مقطع المقاومية الكهربائية المفسر في الشهر الرابع ٢٠٠٨



مقطع التغيرات النسبية بين الشهرين الخامس ٢٠٠٧ و الرابع ٢٠٠٨ مقدر (%)

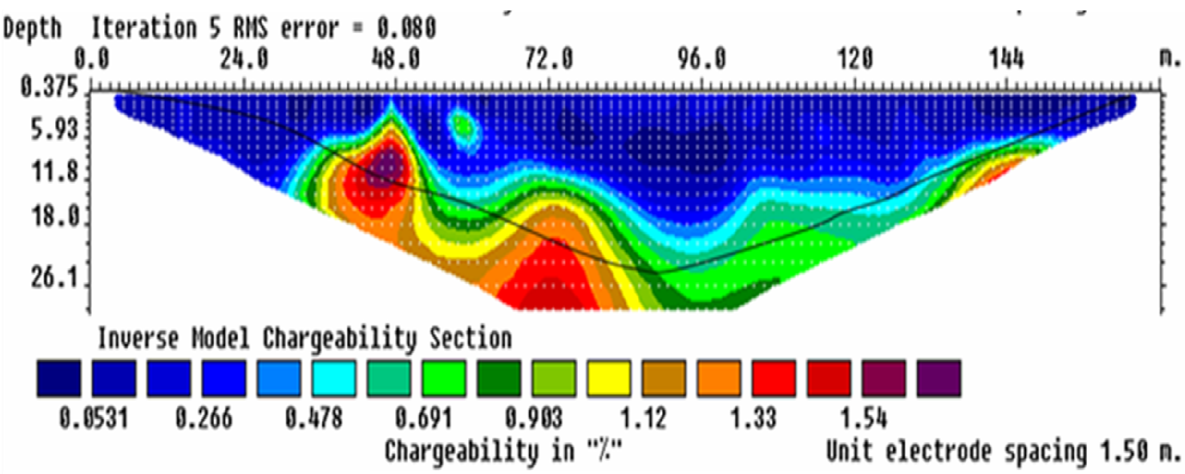


الشكل٢٥-٦ مقطع التغير النسبي للمقاومية الكهربائية المفسرة من الشهر الخامس ٢٠٠٧ إلى الشهر الرابع ٢٠٠٨

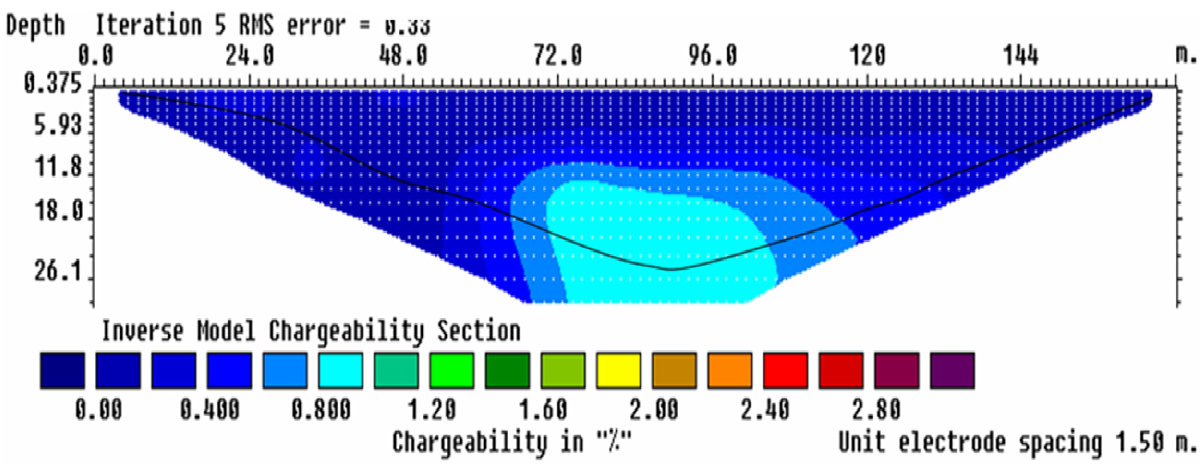
٥-٣-٦ مقطع التغير النسبي لقابلية الشحن المفسر بين الشهرين الخامس من العام ٢٠٠٧ و الرابع من العام ٢٠٠٨ :

نلاحظ من المقطع المعبر عن التغيرات النسبية لقابلية الشحن المفسر بين الشهرين الخامس ٢٠٠٧ و الرابع ٢٠٠٨ (شكل ٦-٢٦) ارتفاع قابلية الشحن المفسر بشكل واضح على قطاع كبير يمتد على مسافة X=٧٠m→١٢٠m و على عمق Z=٤m و حتى أسفل السد ، و ارتفاع قابلية الشحن في هذا النطاق يكون بسبب انخفاض الرطوبة العالية للغضار في الشهر الرابع من العام ٢٠٠٨ في هذا القطاع لقيمة أقل من٢٠٪ ، بحيث تجاوزت رطوبة هذا القطاع في الشهر الخامس من العام ٢٠٠٧ القيمة ٢٠٪ . نقصان الرطوبة هنا يكون ناتج عن انخفاض منسوب مياه البحيرة و بالتالي قابلية شحن النواة الغضارية متأثرة بشكل رئيسي بمنسوب البحيرة نتيجة لوجود شاذ معين في جسم السد ، و نلاحظ أن القيمة الأعظمية لارتفاع قابلية الشحن يكون عند المسافة X=٩٣m و العمق Z=١٠m و كما رأينا في الفقرة (٦-٢-٦) أن هذه النقطة تشكل نقطة دخول المياه الراشحة من البحيرة إلى جسم السد . أما النطاق الممتد من X=٤٠→٦٠m و الذي يقابل القطاع المنخفض المقاومية و الذي شكل جزء من الشاذ الأفقي المنخفض المقاومية الكهربائية في مقطعي المقاومية الكهربائية المفسر في الشهرين الخامس من ٢٠٠٧ و الرابع من ٢٠٠٨ ، فنلاحظ انخفاض قابلية الشحن و ذلك بسبب أن هذا كان القطاع يتمتع برطوبة عالية في الشهر الخامس عام ٢٠٠٧ و لكن أقل من ٢٠٪ ، وعندما انخفض منسوب مياه بحيرة التخزين في الشهر الرابع عام ٢٠٠٨ قلت رطوبة هذا القطاع و بالتالي انخفضت قابلية شحنه . أما بقية أجزاء السد و التي تتمتع بارتفاع المقاومية الكهربائية في الشهر ٢٠٠٨/٤ عنها في الشهر ٢٠٠٧/٥ بسبب انخفاض قيمة تراكيز الأملاح المنحلة TDS في الشهر ٢٠٠٨/٤ بالنسبة للشهر ٢٠٠٧/٥ فنلاحظ انخفاض قابلية شحنها.

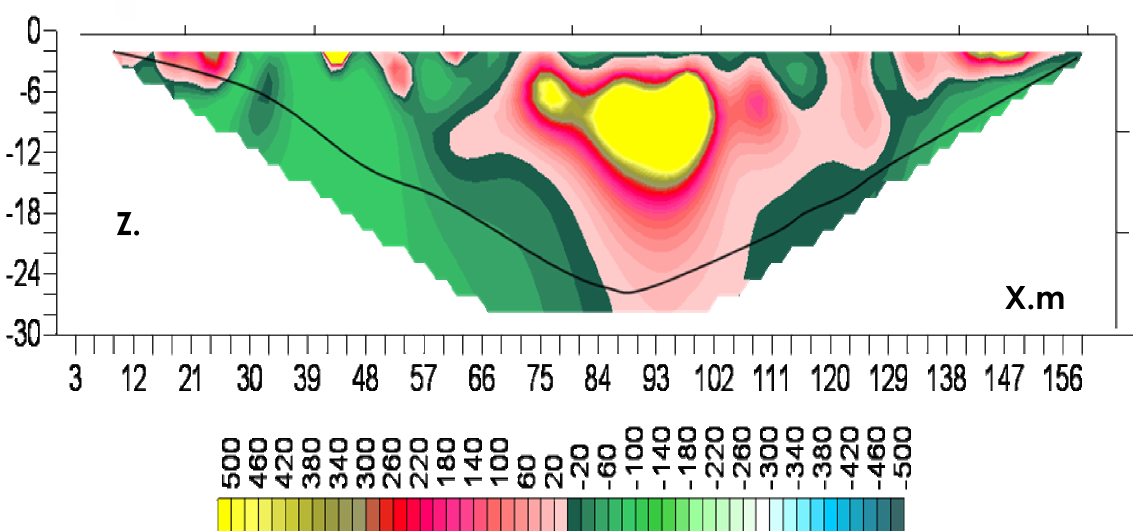
مقطع قابلية الشحن المفسر في الشهر الخامس ٢٠٠٧



مقطع قابلية الشحن المفسر في الشهر الرابع ٢٠٠٨



مقطع التغيرات النسبية بين الشهرين الخامس ٢٠٠٧ و الرابع ٢٠٠٨ مقدر (%)



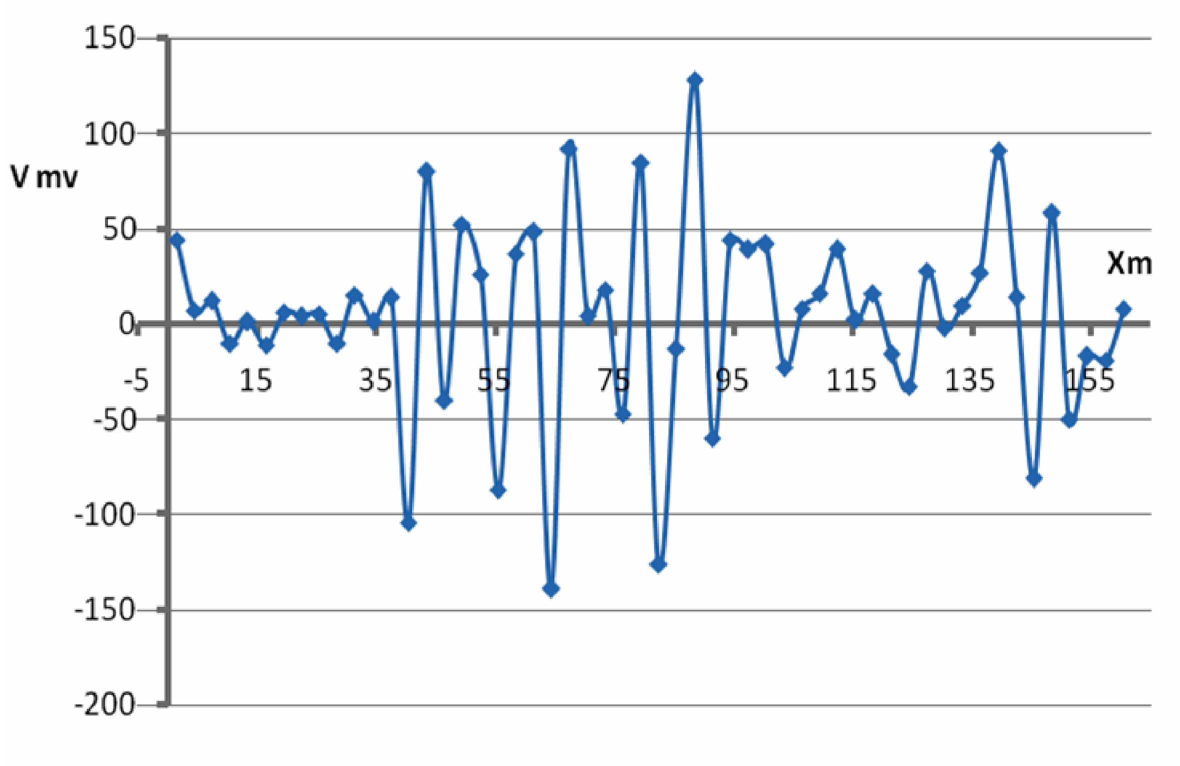
الشكل ٦-٢٦ مقطع التغير النسبي لقابلية الشحن من الشهر الخامس ٢٠٠٧ إلى الشهر الرابع من عام ٢٠٠٨

٦-٣-٦ مسح تدرج الكمون الذاتي الطبيعي :

أعيد تنفيذ مسح تدرج الكمون الذاتي الطبيعي كما في الشهر الحادي عشر ومثلت نتائجه على شكل منحني بياني . كما في الشكل٢٧-٦.

نلاحظ من منحني تدرج الكمون الذاتي الطبيعي العديد من التذبذبات الصاعدة و الهابطة ومن الصعب مقارنته مع بقية المعطيات الجيوكهربائية كما في منحني مسح تدرج الكمون الذاتي الطبيعي في الشهر الذي قبله.

مما سبق نستنتج أن طريقة تدرج الكمون الذاتي الطبيعي قليلة الفائدة في مجال مراقبة السدود .



الشكل ٢٧-٦ منحني تدرج الكمون الذاتي الطبيعي في الشهر الرابع ٢٠٠٨

٧-٣-٦ مسح الكمون الذاتي الطبيعي:

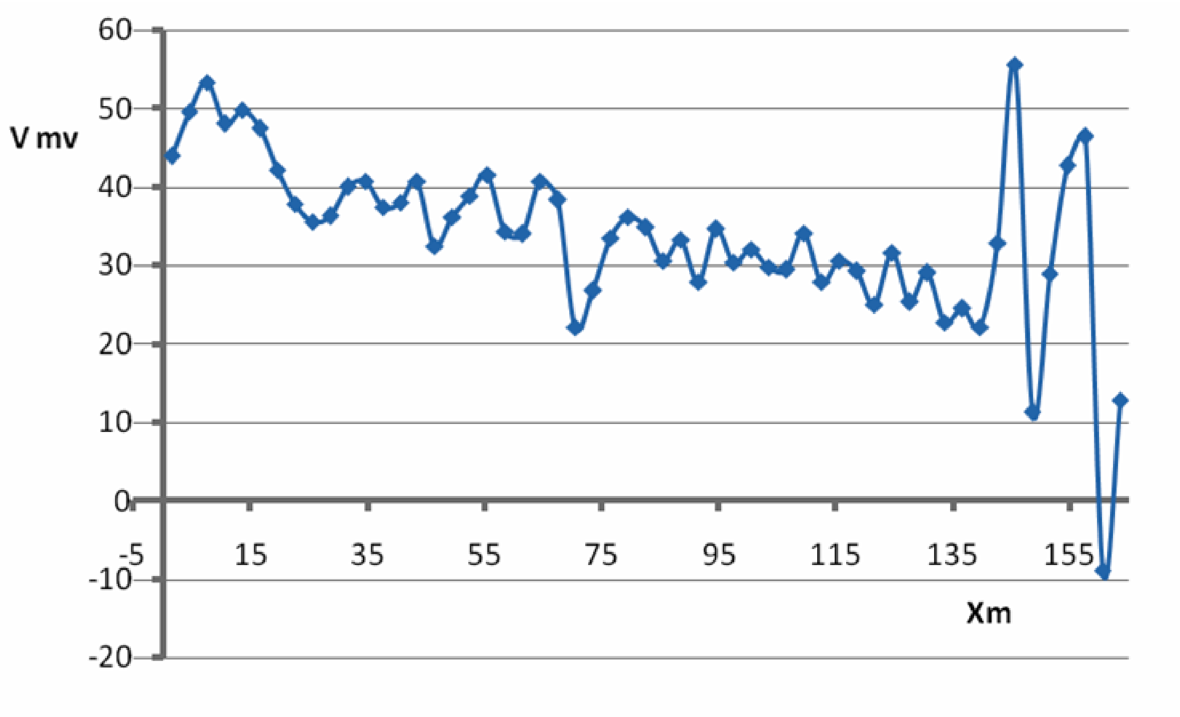
أعيد تنفيذ مسح الكمون الذاتي الطبيعي ومثلت قيمه على منحني بياني كما في الشكل٢٨-٦.

نلاحظ على منحني مسح الكمون الذاتي الطبيعي انعدام الشواذ السالبة و المنحني يكون ذو ميل عام و تظهر قيمة سالبة واحدة فقط في نهاية السد عند المسافة X=١٦٠m . نستنتج من ذلك عدم وجود حركة للمياه الراشحة (خلال هذه المرحلة) ضمن جسم السد و الناتجة عن ضغوطات لمياه البحيرة.

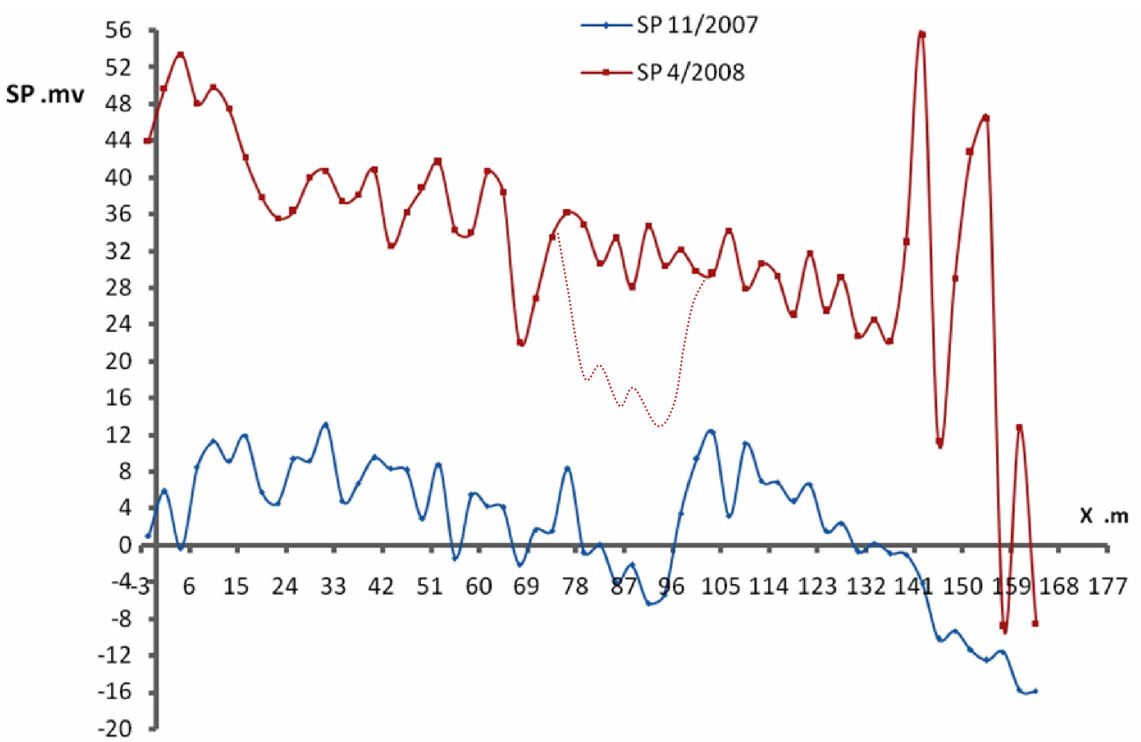
و بما أنه لا يوجد شواذ سالبة في هذه الحالة لذلك لا فائدة من تطبيق علاقات ***(Bhattacharya and Roy.(١٩٨١))*** لحساب الكمون الذاتي الطبيعي .

و إذا ما قارنا مسح الكمون الذاتي الطبيعي في الحادي عشر ٢٠٠٧ مع مسح الكمون الذاتي الطبيعي لهذه المرحلة في الشهر الرابع ٢٠٠٨ في الشكل ٢٩-٦ نلاحظ أن قيم الكمون الذاتي الطبيعي في الشهر الرابع ٢٠٠٨ تكون أعلى بكثير من قيم الكمون الذاتي المقاسة في الشهر الحادي عشر ٢٠٠٧ و يمكن أن نعزو ذلك لارتفاع قيم المقاومية الكهربائية لكامل السد تقريبا (بما في ذلك منطقة رشح مياه البحيرة إلى داخل النواة الغضاية) في الشهر ٤/٢٠٠٨ بالنسبة للشهر ١١/٢٠٠٧ نتيجة لانخفاض تركيز الأملاح المنحلة في الشهر الرابع بالنسبة للشهر الحادي ، و بالتالي حسب العلاقة ١٩-٢ فإن اتفاع قيم المقاومية في الشهر ٤/٢٠٠٨ يؤدي إلى ارتفاع قيمة الكمون الذاتي الطبيعي.

أما اختفاء الكمون السالب الموجود في منحني الكمون الذاتي الطبيعي في الشهر ٤/٢٠٠٨ و الموجود في منحني الكمون الذاتي الطبيعي في الشهر ١١/٢٠٠٧ فهو ناتج عن انخفاض منسوب مياه البحيرة في الشهر ٤/٢٠٠٨ و انخفاض الضغوط الناتجة عنها و بالتالي حسب العلاقة ١٩-٢ يؤدي ذلك إلى نقصان الكمون الراشح (الكمون السالب) المتولد بسبب الضغوط الناتجة عن مياه البحيرة أي إختفاء الشاذ. بحيث لو فرضنا أن ضغط مياه بحيرة التخزين ثابتا في كلا الشهرين، من المفروض أن نجد على منحني مسح الكمون في الشهر٤/٢٠٠٨ شاذ ذو قيمة منخفضة للكمون الذاتي الطبيعي بالنسبة للمنحني ككل و ليس بالضرورة أن يكون سالبا، و ذو سعة مساوية للشاذ الموجود في منحني مسح الكمون الذاتي الطبيعي في الشهر ١١/٢٠٠٧ (الخط الأحمر المنقط في الشكل ٢٩-٦). و بالتالي فإن الكمون الذاتي الطبيعي في منطقة رشح مياه بحيرة التخزين إلى النواة الغضارية يتأثر بالضغوط الناتجة عن مياه بحيرة التخزين .



الشكل ٢٨-٦ منحني مسح الكمون الذاتي الطبيعي في الشهر الرابع ٢٠٠٨



الشكل ٢٩-٦ مقارنة بين منحني مسح الكمون الذاتي الطبيعي في الشهر الرابع ٢٠٠٨ و الشهر الحادي عشر ٢٠٠٨ ، و مكان وجود شاذ الكمون في منحني مسح الكمون الذاتي الطبيعي ٢٠٠٨/٤ (الخط الأحمر المنقط) فيما لو وجدت ضغوط مطبقة من بحيرة السد على منطقة الرشح

٤-٦ خلاصة تفسير النتائج الحقلية:

تتغير المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن للأجزاء السليمة من النواة الغضارية بشكل دوري على طول السنة بحيث تتبع تأثير قيم تركيز الأملاح المنحلة في مياه بحيرة التخزين ، و يكون تأثير درجة حرارة مياه بحيرة التخزين مهملا على المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن للنواة الغضارية . و تغير الكمون الذاتي مع السنة يتأثر بقيم المقاومية الكهربائية بحيث يتناسب طردا معها .

أما في حال وجود نطاق مخلخل من جسم السد ترشح منه مياه بحيرة السد إلى داخل النواة الغضارية ، فإن تغير المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن لهذا النطاق يتأثر بضغوط مياه بحيرة التخزين على هذا الشاذ و ليس بقيمة تركيز الأملاح المنحلة في مياه البحيرة .و تغير الكمون الذاتي على طول السنة يتأثر بضغوط مياه البحيرة بالإضافة لقيم المقاومية الكهربائية ، أو قد يكون متأثرا بضغوط مياه البحيرة فقط .

نتيجة للدراسات الجيوكهربائية المنفذة (مقاومية ، قابلية شحن ،و كمون ذاتي) نستنتج وجود نطاق مخلخل عند العمق Z=١٢-١٤m عند المسافة X=٩٠-١٠٠m .

عندما يكون منسوب مياه البحيرة أعظم ما يمكن و بالتالي الضغوط الناتجة عن مياه البحيرة أعظم ما يمكن يؤدي إلى رشح مياه البحيرة من بحيرة التخزين إلى جسم السد عبر هذا النطاق و تستمر بالرشح ضمن جسم السد عبر نطاق مخلخل مشكلا طبقة أفقية على عمق Z=١٢-١٥m ، بحيث ترشح من المركز X=٩٠-١٠٠m و يستمر الرشح حتى حتى X=٤٨m الجهة اليسرى من مركز الرشح.

أما عندما يخف منسوب مياه بحيرة السد و تخف الضغوط الناتجة عنه ،تمتص الغضاريات القليلة الرطوبة الموجودة في x=١١٠m ، Z=١٢m المياه المياه الراشحة إلى داخل السد من القطاع الواقع عند المسافة X=٩٠-١٠٠m و العمق Z=١٢-١٥m.

الفصل السابع

نتائج الدراسة و التوصيات

٧-١ نتائج الدراسة :

- **إختيارالتشكيلة المناسبة للمراقبة الجيوكهربائية :**

هناك عدة معايير لاختيار التشكيل المناسب للدراسة وهي :

- نسبة الإشارة على التشويش الكموني S/N
- المعطيات المتأثرة بالتشويش الكموني Noise%
- قوة الإشارة المسجلة Signal
- قيمة تأثير الشواذ AE%
- تأثر نمط الحساسية بالشكل الهندسي للشاذ المدروس

القيمة العالية من نسبة الإشارة على التشويش S/N ، و المقدار الضئيل من المعطيات المتأثرة بالتشويش Nose% ، و قوة الإشارة العالية Signal، و تأثير الشواذ العالي القيمة AE% لأي تشكيلة من التشكيلات لا يعطي دائما و بالضرورة مقطع مقاومية كهربائية مفسر واضح، لذلك فالمعيار الرئيسي في اختيار أي تشكيلة هو نمط الحساسية لهذه التشكيلة و تأثرها الجيد بالشكل الهندسي للشاذ و أبعاده الهندسية، و تكون المعايير الأخرى معايير مكملة و إضافية لمعيار نمط الحساسية ، فإذا كان نمط الحساسية لهذه التشكيلة متأثرا بشكل جيد بالشكل الهندسي للشاذ ، فإن التشويشات الخارجية لا تؤثر بشكل كبير على المقطع الجيوكهربائي المفسر بشكل تطمس شكل الشاذ الحقيقي . تبدي تشكيلة وينر شلمبرجير نمط حساسية متأثر بشكل جيد مع الشواذات المتواجدة غالبا بشكل أفقي في النواة الغضارية و تعطي مقاطع جيوكهربائية مفسرة قريبة من الواقع على الرغم من تأثرها بكمونات التشويش الخارجية ، بالإضافة إلى تأثرها القليل بالأخطاء البعدية الداخلية و الخارجية المتعلقة بأماكن المساري المستخدمة في القياس.و يفضل أيضا

الابتعاد عن تشكيلة ديبل ديبل لدراسة جسم السد و مراقبته جيوكهربائيا ، لعدم تأثر نمط حساسية هذه التشكيلة بالشواذ الأفقية الشكل و ضعف قوة إشارة هذه التشكيلة .

- **تصحيح المعطيات الجيوكهربائية الحقلية المتأثرة بالشكل الهندسي للسد:**

نصادف في حالة القياس على قمة السد ، ظاهرة عدم استمرارية انتشار الحقل الكهربائي عند الحدود الجانبية للسد . تظهر هذه الظاهرة في القياسات على السدود بسبب الجدران الجانبية المائلة للجانب الهوائي والجانب المائي (تأثير الطبوغرافيا). ويتلاشى تأثير الجانب المائي بحسب ارتفاع منسوب المياه في بحيرة السد الغامرة له. ويبقى تأثير الجانب الهوائي مستمرا في كافة الحالات . وتزداد شدة تأثير هذه الظاهرة بازدياد ميل الجانبين ، و ازدياد طول AB/٢ و نقصان بعد تشكيلة القياس عن جوانب السد . كما تختلف شدة تأثير هذه الظاهرة بحسب نوع التشكيل المستخدم .

يؤدي تبسيط الطبيعة الهندسية للسد و اعتباره وسط ثنائي بعد متجانس إلى نتائج غير مطابقة للحقيقة من ناحية المقاومية الكهربائية الحقيقية والأعماق الحقيقية الناتجة عن التفسير ، لذلك لا بد من حساب معاملات تصحيح للمقاومية المقاسة في الحقل للحصول على مقاومية حقيقية مفسرة و بالتالي مقطع مقاومية كهربائية مفسر مطابق للواقع. كما تبين من خلال الدراسة أن تأثير الطبيعة الهندسية للسد على قابلية الشحن صغيرة بحيث يمكن إهمالها .

- **تغيرات المقاومية الكهربائية الفصلية :**

تتعلق المقاومية الكهربائية للنواة الغضارية بعاملين رئيسيين : تركيز الأملاح المنحلة في مياه بحيرة التخزين ، و الناقلية الهيدروليكية المتعلقة بوجود نطاقات ضعف في النواة و ضغوط مياه البحيرة ، بحيث يعتبر تأثير التغيرات الفصلية لدرجة حرارة مياه بحيرة السد الممتدة ضمن النواة الغضارية لجسم السد ضعيفا جدا بحيث يمكن إهماله .

و يتم ربط التغيرات النسبية للمقاومية الكهربائية للنواة الغضارية من خلال علاقات آرشي حيث تعطينا مدلولا واضحا ما إذا كان جسم السد سليما أو يحوي على نطاقات ضعف. فبحسب علاقة آرشي تتعلق المقاومية الكهربائية بمقاومية السائل الكهربائية المالئة للمسامات و الشقوق و بدرجة الإشباع .

– الأجزاء السليمة من النواة الغضارية :

وجدنا من خلال دراستنا أن تغير المقاومية الكهربائية يرتبط بتغير تركيز الأملاح المنحلة في مياه بحيرة التخزين المستمرة ضمن النواة الغضارية السليمة أو في الأجزاء السليمة منها إذا حوت النواة على منطقة مخلخلة ، و بالتالي تتغير المقاومية الكهربائية بشكل دوري على طول السنة تبعا للتغير الدوري لتركيز الأملاح المنحلة في مياه بحيرة التخزين . يتعلق تركيز الأملاح المنحلة في مياه بحيرة التخزين و بشكل رئيسي بتركيز الأملاح في الوارد المائي المغذي و عملية الإزهار الطحلبي و تبخر مياه البحيرة و الضخ المائي في فصل الصيف .

– إذا حوت النواة الغضارية على نطاقات تخلخل و تشقق:

تتعلق المقاومية الكهربائية عندئذ بدرجة الإشباع المائي لمياه بحيرة التخزين الراشحة ضمن هذا النطاق المخلخل .

عند وجود نطاق مخلخل في النواة الغضارية ، ترشح إليه مياه بحيرة التخزين بشكل كبير و ملحوظ، تكون كمية المياه الراشحة من بحيرة التخزين ضمن جسم السد أعظم ما يمكن عندما يكون منسوب مياه بحيرة التخزين أعظميا نتيجة الضغوط العالية لمياه بحيرة التخزين و التي تعمل على دفع أكبر قدر ممكن من مياه بحيرة التخزين لترشح ضمن النطاق المخلخل، و بالتالي تكون درجة الإشباع أعظم ما يمكن في هذا النطاق ، و تنخفض المقاومية الكهربائية الحقيقية و الظاهرية لجسم السد عند هذا النطاق المخلخل بحسب علاقات آرشي . و عند انخفاض منسوب مياه بحيرة التخزين، تقل كمية المياه الراشحة ضمن هذا النطاق نتيجة انخفاض الضغوط المطبقة على المياه الراشحة ضمن هذا النطاق ، مما يؤدي إلى ارتفاع المقاومية الكهربائية بحسب علاقات آرشي نتيجة انخفاض درجة الإشباع.

- **تغيرات قابلية الشحن الفصلية :**

عندما تكون رطوبة النواة الغضارية تتراوح ضمن المجال النظامي لرطوبة النواة الغضارية من الناحية الجيوهندسية أقل من (%٢٥-١٨)) نميز حالتين :

– ففي الأجزاء السليمة من النواة الغضارية، تتغير قابلية الشحن بشكل دوري على طول السنة و لكن بشكل معاكس لتغير المقاومية الكهربائية الفصلي المتأثرة بدورها بتركيز الأملاح المنحلة في مياه بحيرة التخزين و ذلك بسبب أن المقاومية الكهربائية تتناسب طردا مع الكمون المقاس قبل قطع التيار ، بينما قابلية الشحن تتناسب عكسا معها.

– و أيضا تغير قابلية الشحن بشكل لا يتوافق مع التغير الدوري و المذكور في الحالة الأولى يكون مؤشرا لوجود نطاقات مخلخلة في جسم السد ، و لكن هذا في حال كانت رطوبة النواة ضمن المجال الأقل من (٢٥%–١٨) . فعندما يكون منسوب إملاء البحيرة أعظمي تزداد الضغوط المطبقة من قبل مياه البحيرة و بالتالي تزداد رطوبة النطاقات المخلخلة مما يرفع من قابلية شحن النطاق المخلخل، أما عند انخفاض منسوب مياه بحيرة التخزين و انخفاض الضغوط الناتجة عنه ، تنخفض رطوبة النطاق المخلخل مما يؤدي إلى خفض قابلية شحنه .

توجد إشكالية معينة في دراسة تغيرات قابلية شحن نطاق مخلخل في النواة الغضارية على طول السنة ، بحيث إذا ازدادت رطوبة هذا النطاق إلى ما فوق المجال (٢٠٪) بسبب ازدياد الضغوط الناتجة عن الإملاء الأعظمي لبحيرة التخزين فإن قابلية شحن هذا النطاق سوف تتناقص بسبب ازدياد الرطوبة إلى ما فوق الحد الحرج . و عند انخفاض منسوب مياه بحيرة التخزين و الضغوط الناتجة عنها تنخفض رطوبة هذا النطاق و تزداد نتيجة لذلك قابلية شحن هذا النطاق المخلخل. لذلك يجب أن نكون حذرين جدا بربط قابلية الشحن مع رطوبة الطبقات الغضارية عند دراسة تغير قابلية شحن النواة الغضارية على طول السنة.

- **تغيرات الكمون الذاتي الطبيعي الفصلية :**

تتعلق تغيرات الكمون الذاتي بتغيرات المقاومية الكهربائية و الضغوط المطبقة ، بحيث يمكن أن نميز حالتين :

– في الأجزاء السليمة من النواة الغضارية يتغير الكمون الذاتي الطبيعي للنواة الغضارية السلية أو الأجزاء السليمة منها بشكل يتناسب طردا مع تغيرات المقاومية الكهربائية الفصلية .

–أما إذا تغير الكمون الذاتي الطبيعي نتيجة تراكب عاملين : الضغوط المطبقة من قبل مياه بحير التخزين و تأثير المقاومية الكهربائية أو نتيجة الضغوط المطبقة فقط فإن ذلك يدل على منطقة مخلخلة ترشح من خلالها المياه إلى النواة الغضارية.

- **أهمية المراقبة الجيوكهربائية**

قد يقود القيام بسبر جيوكهربائي واحد في السنة (مقاومية كهربائية و قابلية شحن و كمون ذاتي) إلى نتائج غير دقيقة و مضللة أحيانا، بحيث لا يعطي مؤشرا واضحا عن مكان رشح مياه بحيرة التخزين. ولا يمكن أن يتم الكشف عن أية شواذات أو نطاقات تشقق في السد إلا بمراقبة التغيرات الفصلية للمقاومية الكهربائية و قابلية الشحن و الكمون الذاتي الطبيعي و دراسة العلاقة بين هذه التغيرات مع مياه البحيرة المستمر ضمن النواة الغضارية من حيث تركيز الأملاح المنحلة في مياه بحيرة التخزين TDS والضغوط الناتجة عن مياه البحيرة.

- **أهمية طريقة تغير الكمون الذاتي مع الزمن المرافــق للـــسبور الجيوكهربائيـــة الشاقولية و معادلة ((١٩٨١) *Bhattacharya and Roy.* فـــي دراســـة النطاقـــات الراشحة ضمن النواة الغضارية :**

وجدنا من خلال هذه الدراسة أهمية لطريقة دراسة تغير الكمون الذاتي مع الزمن لكل نقطة من نقاط السد، و هذه الطريقة جديدة و تنفذ لأول مرة و تبين أنها تعطي نتائج متوافقة مع بقية الطرائق الجيو كهربائية و تدعمها. تغير الكمون مع الزمن بالزيادة أو النقصان مؤشر مباشر على حركة المياه في جسم السد ، و المعيار الرئيسي هنا هو أن منطقة انتشار المياه تبدي تغيرا للكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن بإشارة معاكسة لتغير الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن في منطقة تجمع هذه المياه الراشحة. و يجب لاستخدام هذه الطريقة بشكلها الصحيح وضع محطة مرجع بعيدة عن السد و بعيدة عن أي مصدر رشح من أجل إجراء التصحيحات اللازمة و يتم ذلك بتسجيل التغيرات الناتجة عن الكمونات الطبيعية التللورية المتغيرة مع الزمن وغيرها من التشويش العام، و حذفها من نتائج قياس تغير الكمون الذاتي الطبيعي مع الزمن.

طبقت معادلة ((١٩٨١) ***Bhattacharya and Roy.*** لحساب الكمون الذاتي الطبيعي لأول مرة في مجال السدود و دراسة الرشوحات المائية، و قد وجدنا من خلال دراستنا أن هذه المعادلة مفيدة جدا من أجل :

- حساب كمون ذاتي طبيعي و ذلك بالاعتماد على موديل مفروض ذو أبعاد هندسية معينة، و مقارنة الكمون المحسوب مع الكمون الذاتي الطبيعي المقاس للحصول على أفضل تطابق بين منحنيي الكمون الطبيعي المحسوب و المقاس بتغيير البارمترات الهندسية للشاذ المستخدمة في معادلات الحساب، و بالتالي التأكد من الأبعاد الهندسية للشاذ

المستنتج في مقاطع المقاومية الكهربائية و **قابلية الشحن** المفسرة و غيرها من الدراسات حول الشاذ.

– حساب عمق الجسم الشاذ في حال معرفتنا الشكل الهندسي للجسم في حال عدم وجود دراسات أخرى تعطي معلومات عن عمق الشاذ (مثل مقاطع مقاومية ، أو آبار سبر)

- **الواقع الحالي لجسم سد حبران**

أكدت جميع نتائج الدراسات الجيوكهربائية التي نفذناها وجود نطاق مخلخل عند بعد ٩٠→١٠٠m عن بداية السد الشمالية و عمق ١٢→١٥m عن سطح السد، ناتج عن ازدياد نسبة الشوائب غير الغضارية (حصى ، رمال). يسمح هذا النطاق المخلخل برشح مياه بحيرة التخزين ضمن جسم السد، نحو اليسار باتجاه النقطة التي تبعد X=٤٨m عن بداية السد الشمالية نتيجة الضغوط العالية الناتجة عن ارتفاع منسوب مياه بحيرة التخزين. و تتالي عملية رشح المياه بتأثير الضغوط العالية لمياه بحيرة السد في النطاقات المخلخلة مع الزمن قد يؤدي مستقبلا إلى جرف الحبيبات الغضارية من هذا النطاق و بالتالي تزايد نسبة تخلخل هذا القطاع .

أما عند انخفاض منسوب مياه بحيرة التخزين ، و نقصان الضغوط الناتجة عنها ، تمتص الغضاريات قليلة الرطوبة المياه الراشحة باتجاه يمين منطقة دخول المياه نحو النقطة التي تبعد X=١١٠m عن بداية جسم السد الشمالية ، مما يؤدي إلى انتباج الغضاريات الموجودة في هذه المنطقة . يؤدي تناوب انتباج الغضار ، و جفافه يؤدي مستقبلا إلى تشكل نظام تشقق في هذه المنطقة و خصوصا أن النواة الغضارية لهذا السد مصنوعة من الغضار الناتج عن فساد البازلت و المعروف بخاصية الانتباج العالية.

٢-٧ التوصيات و المقترحات :

- ينصح القيام بالقياسات الجيوكهربائية التالية لمراقبة جسم سد حبران :

– قياسات المقاومية الكهربائية و قابلية الشحن باستخدام تشكيلة وينر شلمبرجير ثم حساب معاملات التصحيح للمقاومية الظاهرية و المتأثرة بالطبيعة الهندسية للسد و تفسير معطيات المقاومية الكهربائية المصححة و قابلية الشحن.

– قياسات تغير الكمون مع الزمن المرافق للسبور الشاقولية للمقاومية الكهربائية و قابلية الشحن.

– القيام بمسح الكمون الذاتي على سطح جسم السد .

– حساب الكمون الذاتي الطبيعي بتطبيق علاقة (***(Bhattacharya and Roy.(١٩٨١*** من أجل التأكد من أبعاد الشاذ المستنتجة من القياسات الجوكهربائية بمطابقة منحني مسح الكمون الذاتي الطبيعي المقاس في الحقل مع منحني الكمون الذاتي المحسوب.

- تكرار القياسات السابقة ثلاثة مرات في السنة لمعرفة الشاذ الرئيسي في جسم السد ، بحيث أن القيام بمسوحات كهربائية لمرة واحدة قد تكون مضللة .

- القيام بحساب مقاطع التغيرات النسبية للمقاومية و عامل الشحن بدلالة الزمن لأنها تعطي مدلولات هامة عن وجود شواذات في جسم السد.

- حفر بئر بيزومتري في مكان الشاذ عند المسافة X=٩٠→١٠٠m لمراقبة منسوب المياه الراشحة لجسم السد ، والقيام بالإصلاحات الهندسية اللازمة لمنطقة الشاذ الرئيسي في سد حبران من قبل المهندسين المدنيين و المختصين في هذا المجال .

- ينصح عند بناء أية سدود ردمية في المستقبل، أو في السدود الردمية التي يتم بناءها حاليا استخدام محطة جيوكهربائية متعددة المساري ، وهذه المحطة موصولة إلى مساري قياس

مزروعة أعلى جسم السد و على سفح الوجه المائي و الوجه الهوائي لقياس الكمون الذاتي و المقاومية و قابلية الشحن بشكل يومي لزيادة دقة المراقبة و القياسات الجيوكهربائية .

المراجع

Arrays comparession and errors:

Dahlin, T and Zhou, B. (in press) A Numerical Comparison of ٢D Resistivity Imaging with Ten Electrode Arrays, Geophysical Prospecting.

Zhou, B. and Dahlin, T (٢٠٠٣) Properties and Effects of Measurement Errors on ٢D Resistivity Imaging Surveying, Near Surface Geophysics, ١(٣), ١٠٥-١١٧

Monitoring :

Dahlin,T.and Sjodahl,P.Detection of Internal Erosion and Seepage Evaluation Using Resistivity Monitoring,Wasserbau.

Johansson,s.Friborg,J. Dahlin,T.and Sjödahl,P (٢٠٠٣).LONG TERM RESISTIVITY Experiences from – AND SELF POTENTIAL MONITORING OF EMBANKMENT DAMS Hallby and Sadva Dams Sweden,Elforsk.

Johansson,S.(١٩٩٧).Seepage Monitoring in Embankment Dams,Doctoral Thesis,S-١٠٠ ٤٤ Stockholm, Sweden,TRITA-AMI PHD ١٠١٤,ISSN ١٤٠٠-١٢٨٤,ISRN KTH/AMI/PHD ١٠١٤-SE,ISBN ٩١-٧١٧٠-٧٩٢-١,February ١٩٩٧.

Johansson,S.and Dahlin,T.(١٩٩٦).Seepagemonetoring in earth embankment dams by repeated resistivity measurements , European journal of environmental and engineering GEOPHYSICS, ١،٢٢٩-٢٤٧.

Hauck,C.and Scheuermann,A.Comparing Time Domain Reflectometry and Electrical Resistivity Tomography Measurements for Estimating Soil Water Distribution

Mainali,G.(٢٠٠٧).Monitoring of Tailings Dams with Geophysical Methods,Licentiate Thesis ٢٠٠٧،٢٠٠٦:٠٧|ISSN:I٤٠٢ -١٧٥٧|ISRN:LIC-li c - ٠٦/٠٧.

Sjodahl,P. (٢٠٠٦).Resistivity investigation and monitoring for detection of internal erosion and anomalous seepage in embankment dams,Lund univercity , Doctor thsis ٢٠٠٦

٢,٥D modeling :

Sjodahl,P.and Dahlin,T.(٢٠٠٦). ٢,٥D resistivity modeling of embankment dams to assess influence from geometry and material properties,GEOPHYSICS, VOL. ٧١, NO. ٣ (MAY-JUNE ٢٠٠٦); P. G ١٠٧–G ١١٤, ٩ FIGS., ٣ .TABLES. ١٠,١١٩٠/١,٢١٩٨٢١٧

Inversion modeling:

Allen,D.and Merrick,N.(٢٠٠٧).Robust ١D inversion of large towed geo-electric array datasets used for hydrogeological studies,Exploration Geophysics, ٢٠٠٧, ٣٨, ٥٠–٥٩.

A.A.Bobachev,I.N.Modin,E.V.Pervago,V.A.Shevnin.IPI – ١D,Manual to IPI – ١D, ١١٩٨٩٩, Russia, Moscow, Moscow State University Geological Faculty, Department of Geophysics.

Baranwal ١ V.C., Franke A., Borner R.-U., Spitzer K., Sharma S.P.(٢٠٠٥). ٢D inversion for plane wave EM methods using an adaptive unstructured grid finite element approach: formulation, calculation of sensitivities and first Haus ،results, ٢١. Kolloquium Elektromagnetische Tie fenforschung Wohldenberg, Holle, ٣–٧,١٠,٢٠٠٥, Hrsg.: ٠. Ritter und H. Brasse.

Christiansen,A.and Auken,E.(٢٠٠٤).Optimizing a layered and laterally constrained ٢D inversion of resistivity data using Broyden's update and ١D derivatives,Journal of Applied Geophysics ٥٦ (٢٠٠٤) ٢٤٧—٢٦ Received ٢٠ August ٢٠٠٣; accepted ٦ July ٢٠٠٤

Constable,S.Parker,R.and Constable,C.(١٩٨٧).Occam's inversion: A practical from electromagnetic sounding algorithm for generating smooth models .data,GEOPHYSICS. VOL. ٥٢. NO. ٣ (MARCH ١٩٨٧); P ٢٨٩ ٣٠٠, ٦ FIGS. ٥ TABLES.

El-Qady,G.Sakamoto,C.and Ushijima,K.(١٩٩٩). ٢-D inversion of VES data in Saqqara archeological area,Egypt,Earth Planet Space,٥١،١٠٩١–١٠٩٨،١٩٩٩ Received Octobor ١٤،١٩٩٨;Recieved August ١٦،١٩٩٩;Accepted August) (٢٣،١٩٩٩.

Groot-Hedlin,C.and Constable,S.(١٩٩٣).Occam's Inversion and the North American Central Plains Electrical Anomaly,J. Geomag. Geoelectr., ٤٥, ٩٨٥–

Received March ٣, ١٩٩٣; Revised July ٢٩, ١٩٩٣; Accepted)١٩٩, ١٩٩٣ (September ٣, ١٩٩٣.

GrootHedlin,C.and Constable,S.(٢٠٠٤).Inversion of magnetotelluric data for ٣D structure with sharp resistivity contrasts,GEOPHYSICS, VOL ٦٩, NO. ١ (JANUARY-١٠,١١٩٠١١١٦٤٩٣٧٧ .FEBRUARY ٢٠٠٤); P ٧٨—٨٦،١١ FIGS., ٣TABLES.

Loke, M.H. (٢٠٠٣) Rapid ٢-D Resistivity & IP inversion using the least square method, Manual to RES٢DINV ver. ٣,٥٢, Geoelectrical Imaging ٢-D & ٣D GEOTOMO SOFTWARE.

Loke, M.H. (٢٠٠٤). Tutorial : ٢-D and ٣-D electrical imaging surveys, Manual to RES٢DINV ver. ٣,٥٢, Geoelectrical Imaging ٢-D & ٣D GEOTOMO SOFTWARE

M.H. Loke.Acworth,I.and Dahlin,T.(٢٠٠٣).Exploration Geophysics (٢٠٠٣) ٣٤, ١٨٢–١٨٧.

Ogawa,Y.(١٩٩٩).Constrained inversion of COPROD–٢S٢ dataset using model roughness and static shift norm ,Earth Planet Space,٥١،١١٤٥–١١٥١،١٩٩٩.

Ramirez,A.and others.Stochastic Inversion of Electrical Resistivity Changes Using a Markov Chain, Monte Carlo Approach,UCRL-JRNL–١ ٥٥٠٤٨-REV–٣

Sogade,J.and others.(٢٠٠٦).Induced-Polaraization detection and mapping of contamination plumes,GEOPHISICS,VOL, ٧١.NO.٣ (MAY-JUNE ٢٠٠٦);P.B٧٥-.B٨٤،٧،٢TABLES, ١٠،١١٩٠/١,٢١٩٦٨٧٣.

IP :

A.A.R.Z.Zohdy,G.P.Eaton,and D.R.Mabey.(١٩٨٥).Application of surface geophyiscs to ground-water investigations, Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geology Survey.

Anderson,L.A.andKeller.G.V. ١٩٦٤,Astudyininducedpolarization:Geophysics, v. ٢٩, p. ٨٤٨-S&٢.

Brandes,I.M.(٢٠٠٥). negative chargeability of clay ,Doctor thsesis,university of NSW, School of civil and environmental engineering .

Bertin, J. and Loeb, J. (١٩٧٦). Experimental and Theoretical Aspects of Induced Polarisation, volume ١ of ١. Gebruder Borntraeger, Berlin.

Bleil, D. F. (١٩٥٣). Induced polarization, a method of geophysical prospecting. Geophysics , ١٨:٦٣٦–٦٦١.

COSENZA.P, et al .(٢٠٠٧). Effects of Drying on the Low-Frequency Electrical Properties of Tournemire ArgillitesPure appl. geophys. ١٦٤ (٢٠٠٧) ١–٢٤ DOI ١٠,١٠٠٧/s٠٠٠٢٤-٠٠٧-٠٢٥٣-٠.

Dahlin,T , ert al .(٢٠٠٢).Measuring techniques in induced polarization imaging , Journal of Applied Geophysics ٥٠(٢٠٠٢) ٢٧٩–٢٩٨.

Fraser, D. C. and Ward, S. H. (١٩٦٥). Electrical properties of clay contaminated sandstone .Geophysics, ٣٠:١٢٣٣–١٢٣٤.

Kiberu,j.(٢٠٠٢). Induced polarization and Resistivity measurements on a suite of near surface soil samples and their empirical relationship to selected measured engineering parameters ,Master thesis, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation in partial fulfillment.

K. BEN-MILOUD, and M.-K. SEGUIN.(١٩٨٨). STRATIGRAPHY, DISTRIBUTION OF ACTIVE LAYER AND DISCONTINUOUS PERMAFROST IN KANGIQSUALU J JUAQ BASIN, NORTHERN QUEBEC, Department of Geology and Centre d'Etudes Nordiques, Universitte Laval Qukbec (Qc), Canada, GlK ٧P٤.

K. Duckworth.(١٩٨٣).ELECTRICAL SURVEYS IN THE ALBERTA FOOTHILLS,JOURNAL OF THE CANADIAN SOCIETY OF EXPLORATWN GOEOPHYSICISTS,vol. ١٩. NO. ١ PEG. ١٨٨٣L P. ٥٧-E.

Personna,R,R.(٢٠٠٨). Spectral induced polarization and electrodic potential monitoring of microbially mediated iron sulfide transformations, University of California, University of California, Paper LBNL-٣٥٤E.

Ramirez,A .et al .(١٩٩٩).Electrical impedance tomography of known targets, Lancaster University, Steamtech , inc ,Bakersfield , Calif.

Sogade,J,A.(٢٠٠٦).Induced polarization detection and mapping of contaminant plumes,GEOPHYSICS.VOL ٧١,NO٣(MAY-JUNE ٢٠٠٦);P .B٧٥-B٨٤.

Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., and Keys, D. S. (١٩٧٦). Applied Geophysics. Cambridge University Press.

SP and SP modeling:

El-Sayed,M. et al .(٢٠٠٣).New methods for shape and depth determinations from SP data,GEOPHYSICS, VOL. ٦٨, NO. ٤ (JULY-AUGUST ٢٠٠٣); P. ١٢٠٣–١٢١٠, ٦ FIGS., ٣TABL. ١٠١١٩/١٠١٥٩٨١١٢.

Hafez,M.El-Qady,G.Awad,S.and Elsayed S.HIGHER DERIVATIVE ANALYSIS FOR THE INTERPRETATION OF SELF-POTENTIAL PROFILES AT SOUTHERN PART OF NILE DELTA, EGYPT,National Research Institute of Astronomy and Geophysics, ،Helwan, ١١٧٢٢ Cairo.Egypt.

Moore,J.Glaser,S.and Morrison,G.Large-Scale PhysicalModeling of Water Injesction into Geothermal Reservoir and Correlation to self poetantial Measurrements,PROCEEDINGS,

Song,S.Song,Y.and Kwon,B.Application of hydrogeological and geophysical methods to delineate leakage pathway of earth fill dam,Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation.

Twenty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January ٢٧-٢٩, ٢٠٠٣ SGP-TR-١٧٣.

مقاومية كهربائية،استقطاب تحريضي، سبر شاقولي، مسح الكمون، الخصائص الجيوكهربائية :

أبو ديب،ج.(١٩٩٦).الجيوكهربائية ٢ ، كلية العلوم ، جامعة دمشق.

دورتمان ن.ب. وآخرون .(١٩٦٤). الخواص الفيزيائية للصخور والمكامن المفيدة في الاتحاد السوفيتي (سابقا). نيدرا،موسكو(باللغة الروسية).

رسول آغا،و.(١٩٩٦).الطرق الجيوكهربائية ١ ،كلية العلوم ، جامعة دمشق.

رسول آغا،و.(١٩٩٤).الخواص الفيزيائية للصخور ، كلية العلوم ، جامعة دمشق.

شقير،ف.(١٩٩٤).الجيوفيزياء التطبيقية ٢ ، كلية العلوم ، جامعة دمشق.

قادري. م .(١٩٩١). تقويم إمكانية الأعمال الاستكشافية والتنقيب عن المياه في ظروف جيولوجية وهيدروجيولوجية معقدة وفق معطيات الدراسات الجيوفيزيائية على مثال الجمهورية العربية السورية . (أطروحة دكتوراه باللغة الروسية).

ياكوبوفسكي و لياخكوف .(١٩٨٨).التنقيب الكهربائي،نيدرا،موسكو(باللغة الروسية).

مراجع وزارة الري :

حديد،ب.(١٩٧٠).تقرير جيولوجي و هيدروجيولوجي عن التحريات التي أجريت في الوقع المقترح

لإنشاء سد حبران في محافظة السويداء، وزارة الأشغال و الثروة المائية ،مديرية الري و القوى المائية ،مكتب السدود.

مرعي،ي.شبلاق،م.حسين،ع.(٢٠٠٧). مشروع إعادة تأهيل سد حبران في محافظة السويداء (الدراسة الهيدرولوجية)، جامعة دمشق ،كلية الهندسة المدنية ، قسم الهندسة المائية .

منصوري،ع.(٢٠٠٥).الدراسة الجيوتكنيكية لمشروع إعادة تقييم سد حبران و إعداد الدراسة اللازمة للصيانة،جامعة دمشق ،كلية الهندسة المدنية .